



UNIVERSIDAD DE CUENCA

**Facultad de Ingeniería
Carrera de Ingeniería Civil**

**“MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE
LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE
ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-DESTRUCTIVOS”**

Trabajo de Titulación previo a la obtención
del Título de Ingeniero Civil.

Autores:

André Mateo Ortega Palacios
C.I: 0106670664
mator_12@hotmail.com

Juan José Vanegas López
C.I: 0104830211
juanjovanegas_1995@hotmail.com

Director:

Ing. Daniel Estuardo Mogrovejo Carrasco. M.Sc. PhD
C.I: 0301500476

Cuenca-Ecuador
4 de marzo de 2021



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Resumen

El paso del tiempo produce deterioro en las estructuras de hormigón, esto sumado a la falta de cumplimiento de normas o al ineficiente control de las construcciones en el Ecuador, pone en peligro la integridad tanto de la estructura como de las personas. Las estructuras sufren daños que son originados por diferentes patologías. Para prevenir daños importantes, y en algunos casos colapsos estructurales, es importante realizar una correcta evaluación de las construcciones. Con el propósito de cuantificar los daños presentados se evalúan las edificaciones con ensayos que brindan resultados que, con un posterior análisis, establecen información más técnica sobre el estado actual de la estructura.

En el presente manual, se exponen las diferentes patologías y sus orígenes, para que el usuario tenga conocimiento y facilidad para identificarlas durante una inspección visual. Se presentan árboles de soluciones, que muestran un camino a seguir en la elección de ensayos para una correcta evaluación. De igual manera se describen, de forma concisa, los procedimientos, usos, materiales y análisis de resultados de los ensayos no destructivos y destructivos más comunes en nuestro medio.

Como parte del manual se presenta un ejemplo detallado de una estructura real deteriorada, donde se hace uso de todos los capítulos descritos en el mismo, desde la inspección visual que contempla una fase preliminar de información e identificación de patologías, hasta la elaboración de un informe técnico que se basa en el análisis de los resultados obtenidos con los ensayos.

Palabras clave: Ensayos no destructivos. Ensayos destructivos. Patologías. Evaluación. Estructuras. Manual. Hormigón. Análisis. Árboles de soluciones.

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página 2 de 473



Abstract

The passing of time produces concrete structure's deterioration, this added to the lack of standards compliance or inefficient control of construction in Ecuador, endangers the integrity of both the structure and people. Structures suffer damages caused by different pathologies. In order to prevent important damages, and in some cases structural collapse, it is important to perform an accurate evaluation of the constructions. For the purpose of quantifying the damage, buildings are evaluated with tests that provide results that, with a subsequent analysis, establish technical information about the current state of the structure.

In this manual, different pathologies and their origins are presented, so that the user has the knowledge and facility to identify them during a visual inspection. Solution trees are presented, they show a way to follow in the choice of tests for correct evaluation. Likewise, the procedures, uses, materials and analysis of results of the most common non-destructive and destructive tests in our region are concisely described.

As part of the manual, a detailed example of a real deteriorated structure is presented, which uses all the chapters described in the manual, from the visual inspection that includes a preliminary phase of information and identification of pathologies, to the preparation of a technical report based on the analysis of the results obtained with tests.

Key words: Non-destructive testing. Destructive testing. Pathologies. Evaluation. Structures. Manual. Concrete. Analysis. Solution trees.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

ÍNDICE DE CONTENIDO

Resumen.....	2
Abstract	3
CAPÍTULO I: CAPÍTULO INTRODUCTORIO	34
1.1. Introducción.....	36
1.2. Antecedentes.....	37
1.3. Definición del problema.....	37
1.4. Justificación	38
1.5. Alcance	38
1.6. Metodología	39
1.7. Objetivos.....	40
1.7.1. Objetivo general.....	40
1.7.2. Objetivos específicos.....	41
1.8. Marco teórico	41
1.8.1. Ingeniería forense	41
1.8.2. Ingeniero forense	41
1.8.2.1. Cualidades del ingeniero forense	42
1.8.3. Método científico en la ingeniería forense	43
1.8.4. Patologías del hormigón.....	44
CAPÍTULO II: PATOLOGÍAS DE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN	45
Introducción	47
2.1. PATOLOGÍAS POR INTERVENCIÓN HUMANA	50
2.1.1. Introducción	52
2.1.2. Diseño, colocación y detallamiento inadecuado del acero de refuerzo	52
2.1.2.1. Refuerzo congestionado	52
2.1.2.1.1. Causas	52
2.1.2.1.2. Características.....	53
2.1.2.1.3. Consecuencias.....	53
2.1.2.1.4. Ejemplo	53
2.1.2.2. Colocación inadecuada de las varillas de refuerzo	54
2.1.2.2.1. Causas	54
2.1.2.2.2. Características.....	55
2.1.2.2.3. Consecuencias.....	55



UNIVERSIDAD DE CUENCA

2.1.2.2.4.	Ejemplo	55
2.1.2.3.	Detallamiento inadecuado de estribos	57
2.1.2.3.1.	Causas	57
2.1.2.3.2.	Características.....	57
2.1.2.3.3.	Consecuencias.....	57
2.1.2.3.4.	Ejemplo	58
2.1.3.	Flexión inadecuada de cable postensado	58
2.1.3.1.	Causas	58
2.1.3.2.	Características	59
2.1.3.3.	Consecuencias.....	59
2.1.3.4.	Ejemplo	59
2.1.4.	Manejo inadecuado del encofrado	59
2.1.4.1.	Remoción prematura del encofrado	59
2.1.4.1.1.	Causas	59
2.1.4.1.2.	Características.....	60
2.1.4.1.3.	Consecuencias.....	60
2.1.4.1.4.	Ejemplo	60
2.1.4.2.	Mala colocación de encofrados para columnas	60
2.1.4.2.1.	Causas	60
2.1.4.2.2.	Características.....	60
2.1.4.2.3.	Consecuencias.....	61
2.1.4.2.4.	Ejemplo	61
2.1.5.	Juntas frías	61
2.1.5.1.	Causas	61
2.1.5.2.	Características	62
2.1.5.3.	Consecuencias.....	62
2.1.5.4.	Ejemplo	62
2.1.6.	Segregación.....	62
2.1.6.1.	Causas	62
2.1.6.2.	Características	63
2.1.6.3.	Consecuencias.....	63
2.1.6.4.	Ejemplo	64
2.1.7.	Hormigueros	64

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página 5 de 473



UNIVERSIDAD DE CUENCA

2.1.7.1.	Causas	64
2.1.7.2.	Características	64
2.1.7.3.	Consecuencias.....	64
2.1.7.4.	Ejemplo	65
2.1.8.	Elementos deplomados.....	66
2.1.8.1.	Causas	66
2.1.8.2.	Características	67
2.1.8.3.	Consecuencias.....	67
2.1.8.4.	Ejemplo	67
2.1.9.	Agrietamiento por asentamiento plástico.....	68
2.1.9.1.	Causas	68
2.1.9.2.	Características	69
2.1.9.3.	Consecuencias.....	69
2.1.9.4.	Ejemplo	69
2.1.10.	Agrietamiento por contracción plástica	70
2.1.10.1.	Causas	70
2.1.10.2.	Características	70
2.1.10.3.	Consecuencias.....	71
2.1.10.4.	Ejemplo	71
2.1.11.	Diseños estructurales no recomendados	72
2.1.11.1.	Introducción	72
2.1.11.2.	Columna corta.....	73
2.1.11.2.1.	Causas	73
2.1.11.2.2.	Características.....	74
2.1.11.2.3.	Consecuencias.....	74
2.1.11.2.4.	Ejemplo	75
2.1.11.3.	Ejes verticales discontinuos (Viga corta)	75
2.1.11.3.1.	Causas	75
2.1.11.3.2.	Características.....	76
2.1.11.3.3.	Consecuencias.....	76
2.1.11.3.4.	Ejemplo	76
2.1.11.4.	Piso débil	77
2.1.11.4.1.	Causas	77

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página 6 de 473



UNIVERSIDAD DE CUENCA

2.1.11.4.2.	Características.....	78
2.1.11.4.3.	Consecuencias.....	78
2.1.11.4.4.	Ejemplo	78
2.1.12.	Bibliografía	79
2.2.	PATOLOGÍAS POR EFECTOS TÉRMICOS	81
2.2.1.	Introducción	83
2.2.2.	Variaciones volumétricas por temperatura.....	83
2.2.2.1.	Causas	83
2.2.2.2.	Características	83
2.2.2.3.	Consecuencias.....	84
2.2.2.4.	Ejemplo	84
2.2.3.	Cargas térmicas diferentes.....	84
2.2.3.1.	Causas	84
2.2.3.2.	Características	85
2.2.3.3.	Consecuencias.....	85
2.2.3.4.	Ejemplo	86
2.2.4.	Restricción al cambio volumétrico	87
2.2.4.1.	Causas	87
2.2.4.2.	Características	87
2.2.4.3.	Consecuencias.....	87
2.2.4.4.	Ejemplo	88
2.2.5.	Agrietamiento térmico en concreto recién colocado	88
2.2.5.1.	Causas	88
2.2.5.2.	Características	89
2.2.5.3.	Consecuencias.....	89
2.2.5.4.	Ejemplo	89
2.2.6.	Daños por fuego	90
2.2.6.1.	Causas	90
2.2.6.2.	Características	91
2.2.6.2.1.	Durante la acción del fuego	91
2.2.6.2.2.	Después de la acción del fuego	91
2.2.6.3.	Consecuencias.....	92
2.2.6.4.	Ejemplo	93

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página 7 de 473



UNIVERSIDAD DE CUENCA

2.2.7.	Bibliografía	93
2.3.	PATOLOGÍAS POR EFECTOS DE HUMEDAD	94
2.3.1.	Introducción	96
2.3.2.	Contracción por secado.....	96
2.3.2.1.	Causas	96
2.3.2.2.	Características	97
2.3.2.3.	Consecuencias.....	97
2.3.2.4.	Ejemplo	98
2.3.3.	Transmisión del vapor de agua	98
2.3.3.1.	Causas	98
2.3.3.2.	Características	99
2.3.3.3.	Consecuencias.....	99
2.3.3.4.	Ejemplo	99
2.3.4.	Cambios de volumen.....	100
2.3.4.1.	Causas	100
2.3.4.2.	Características	100
2.3.4.3.	Consecuencias.....	100
2.3.4.4.	Ejemplo	100
2.3.5.	Alabeos	101
2.3.5.1.	Causas	101
2.3.5.2.	Características	102
2.3.5.3.	Consecuencias.....	102
2.3.5.4.	Ejemplo	102
2.3.6.	Eflorescencias.....	103
2.3.6.1.	Causas	103
2.3.6.2.	Características	103
2.3.6.3.	Consecuencias.....	103
2.3.6.4.	Ejemplo	103
2.3.7.	Bibliografía	104
2.4.	PROCESOS DE DESINTEGRACIÓN	105
2.4.1.	Introducción	107
2.4.2.	Exposición a agentes químicos agresivos	107
2.4.2.1.	Causas	107

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página 8 de 473



UNIVERSIDAD DE CUENCA

2.4.2.2.	Características	108
2.4.2.3.	Consecuencias.....	108
2.4.2.4.	Ejemplo	108
2.4.3.	Desintegración por congelamiento y deshielo	108
2.4.3.1.	Causas	108
2.4.3.2.	Características	110
2.4.3.3.	Consecuencias.....	110
2.4.3.4.	Ejemplo	110
2.4.4.	Reacción álcali-agregado.....	111
2.4.4.1.	Causas	111
2.4.4.2.	Características	112
2.4.4.3.	Consecuencias.....	112
2.4.4.4.	Ejemplo	112
2.4.5.	Ataques de sulfatos	112
2.4.5.1.	Causas	112
2.4.5.2.	Características	113
2.4.5.3.	Consecuencias.....	113
2.4.5.4.	Ejemplo	114
2.4.6.	Erosión	114
2.4.6.1.	Causas	114
2.4.6.1.1.	Cavitación	114
2.4.6.1.2.	Abrasión.....	115
2.4.6.2.	Características	115
2.4.6.2.1.	Cavitación	115
2.4.6.2.2.	Abrasión.....	115
2.4.6.3.	Consecuencias.....	115
2.4.6.3.1.	Cavitación	115
2.4.6.3.2.	Abrasión.....	115
2.4.6.4.	Ejemplo	116
2.4.6.4.1.	Cavitación	116
2.4.6.4.2.	Abrasión.....	117
2.4.7.	Bibliografía	117
2.5.	CORROSIÓN DEL ACERO DE REFUERZO.....	119

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página 9 de 473



UNIVERSIDAD DE CUENCA

2.5.1.	Introducción	121
2.5.1.1.	Proceso de corrosión.....	121
2.5.1.2.	Reducción de la capacidad estructural	122
2.5.2.	Agrietamiento y astillamiento por corrosión	122
2.5.2.1.	Causas	122
2.5.2.2.	Características	123
2.5.2.3.	Consecuencias.....	123
2.5.2.4.	Ejemplo	123
2.5.3.	Penetración de cloruros	123
2.5.3.1.	Causas	123
2.5.3.2.	Características	126
2.5.3.3.	Consecuencias.....	126
2.5.3.4.	Ejemplo	127
2.5.4.	Carbonatación	127
2.5.4.1.	Causas	127
2.5.4.2.	Características	128
2.5.4.3.	Consecuencias.....	129
2.5.4.4.	Ejemplo	129
2.5.5.	Aluminosis.....	130
2.5.5.1.	Causas	130
2.5.5.2.	Características	130
2.5.5.3.	Consecuencias.....	130
2.5.5.4.	Ejemplo	131
2.5.6.	Corrosión en elementos estructurales	131
2.5.6.1.	Causas	131
2.5.6.2.	Características	132
2.5.6.3.	Consecuencias.....	132
2.5.6.4.	Ejemplo	132
2.5.7.	Corrosión galvánica	132
2.5.7.1.	Causas	132
2.5.7.2.	Características	134
2.5.7.3.	Consecuencias.....	134
2.5.7.4.	Ejemplo	134

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **10** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

2.5.8.	Bibliografía	135
2.6.	PATOLOGÍAS POR EFECTOS DE CARGAS	136
2.6.1.	Introducción	138
2.6.2.	Modos de agrietamiento	139
2.6.3.	Cortante de viga/losa a columna	140
2.6.3.1.	Causas	140
2.6.3.2.	Características	141
2.6.3.3.	Consecuencias	142
2.6.3.4.	Ejemplo	142
2.6.4.	Voladizos	142
2.6.4.1.	Causas	142
2.6.4.2.	Características	143
2.6.4.3.	Consecuencias	143
2.6.4.4.	Ejemplo	144
2.6.5.	Estructuras continuas	144
2.6.5.1.	Causas	144
2.6.5.2.	Características	145
2.6.5.3.	Consecuencias	145
2.6.5.4.	Ejemplo	146
2.6.6.	Columnas	147
2.6.6.1.	Compresión	147
2.6.6.1.1.	Causas	147
2.6.6.1.2.	Características	147
2.6.6.1.3.	Consecuencias	147
2.6.6.1.4.	Ejemplo	148
2.6.6.2.	Flexión	148
2.6.6.2.1.	Causas	148
2.6.6.2.2.	Características	149
2.6.6.2.3.	Consecuencias	149
2.6.6.2.4.	Ejemplo	149
2.6.6.3.	Cortante	150
2.6.6.3.1.	Causas	150
2.6.6.3.2.	Características	150

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **11** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

2.6.6.3.3.	Consecuencias.....	150
2.6.6.3.4.	Ejemplo	150
2.6.7.	Bibliografía	151
2.7.	PATOLOGÍAS POR ACCIÓN SÍSMICA	152
2.7.1.	Introducción	154
2.7.2.	Golpeteo	157
2.7.2.1.	Causas	157
2.7.2.2.	Características	157
2.7.2.3.	Consecuencias.....	158
2.7.2.4.	Ejemplo	158
2.7.3.	Irregularidad en planta.....	158
2.7.3.1.	Causas	159
2.7.3.2.	Características	161
2.7.3.3.	Consecuencias.....	161
2.7.3.4.	Ejemplo	162
2.7.4.	Irregularidad en elevación.....	163
2.7.4.1.	Causas	163
2.7.4.2.	Características	165
2.7.4.3.	Consecuencias.....	165
2.7.4.4.	Ejemplo	166
2.7.5.	Sobrepeso	166
2.7.5.1.	Causas	166
2.7.5.2.	Características	166
2.7.5.3.	Consecuencias.....	166
2.7.5.4.	Ejemplo	167
2.7.6.	Modificaciones	167
2.7.6.1.	Causas	167
2.7.6.2.	Características	167
2.7.6.3.	Consecuencias.....	167
2.7.6.4.	Ejemplo	168
2.7.7.	Bibliografía	169
2.8.	OTRAS PATOLOGÍAS.....	170
2.8.1.	Asentamientos diferenciales	172

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **12** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

2.8.1.1.	Causas	172
2.8.1.1.1.	Asentamientos tolerables	173
2.8.1.2.	Características	173
2.8.1.3.	Consecuencias.....	174
2.8.1.4.	Ejemplo	174
2.8.2.	Suelos expansivos	175
2.8.2.1.	Causas	175
2.8.2.2.	Características	175
2.8.2.3.	Consecuencias.....	175
2.8.2.4.	Ejemplo	176
2.8.3.	Empuje del terreno	176
2.8.3.1.	Causas	176
2.8.3.2.	Características	177
2.8.3.3.	Consecuencias.....	177
2.8.3.4.	Ejemplo	178
2.8.4.	Materiales constituyentes	179
2.8.4.1.	Causas	179
2.8.4.1.1.	Cemento	179
2.8.4.1.2.	Agua.....	179
2.8.4.1.3.	Áridos.....	179
2.8.4.1.4.	Aditivos	179
2.8.4.2.	Consecuencias.....	180
2.8.4.2.1.	Cemento	180
2.8.4.2.2.	Agua.....	180
2.8.4.2.3.	Áridos.....	180
2.8.4.2.4.	Aditivos	180
2.8.4.	Bibliografía	181
CAPÍTULO III:	ENSAYOS.....	182
Introducción		184
Ensayos No Destructivos (END)		184
Ensayos In-Place (EIP).....		184
Ensayos Semi-Destructivos (ESD)		185
3.1.	INSPECCIÓN VISUAL	191

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **13** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

3.1.1.	Objetivo.....	193
3.1.2.	Normas.....	193
3.1.3.	Usos.....	193
3.1.4.	Alcance.....	193
3.1.5.	Fase preliminar o de documentación	193
3.1.6.	Inspección visual o fase de observación en campo	195
3.1.6.1.	Pesos de patologías	198
3.1.7.	Bibliografía	199
3.2.	ENSAYO DE DETECCIÓN DE ARMADURAS	200
3.2.1.	Objetivo.....	202
3.2.2.	Normas.....	202
3.2.3.	Usos.....	202
3.2.4.	Alcance.....	202
3.2.5.	Materiales y Equipo	203
3.2.6.	Procedimiento.....	203
3.2.6.1.	Diagrama de flujo	205
3.2.7.	Análisis de información	205
3.2.8.	Glosario	205
3.2.9.	Bibliografía	206
3.3.	ENSAYO GPR PARA EVALUACIÓN DEL CONCRETO	207
3.3.1.	Objetivo.....	209
3.3.2.	Normas.....	209
3.3.3.	Usos.....	209
3.3.4.	Alcance.....	209
3.3.5.	Materiales y Equipo	210
3.3.5.1.	Antenas	210
3.3.5.2.	Unidad central o de control	212
3.3.5.3.	Accesorios	213
3.3.6.	Procedimiento.....	214
3.3.6.1.	Procedimiento preliminar	214
3.3.6.1.1.	Procedimiento para identificar el espesor de la losa y la ubicación de varillas	214
3.3.6.1.2.	Procedimiento para la evaluación de puentes	216
3.3.6.1.3.	Procedimiento para la evaluación de la estructura del pavimento	216

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **14** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

3.3.6.2.	Diagramas de flujo	217
3.3.6.2.1.	Diagrama para identificar el espesor de la losa y la ubicación de varillas	217
3.3.6.2.2.	Diagrama para la evaluación de puentes	217
3.3.6.2.3.	Diagrama para la evaluación de la estructura del pavimento	218
3.3.7.	Análisis de información	218
3.3.7.1.	Velocidad de propagación	218
3.3.7.2.	Interpretación de resultados de referencia.....	220
3.3.8.	Glosario	225
3.3.9.	Bibliografía	226
3.4.	ENSAYO DE TERMOGRAFÍA INFRARROJA.....	227
3.4.1.	Objetivo.....	229
3.4.2.	Normas.....	229
3.4.3.	Usos.....	229
3.4.4.	Alcance.....	229
3.4.4.1.	Consideraciones previas antes de realizar el ensayo	229
3.4.5.	Materiales y Equipo	231
3.4.5.1.	Cámara termográfica	231
3.4.5.2.	Termohigrómetro.....	232
3.4.5.3.	Software.....	232
3.4.5.4.	Elementos para contrarrestar parámetros que influyen en las medidas	233
3.4.6.	Procedimiento.....	233
3.4.6.1.	Procedimiento del ensayo.....	233
3.4.6.2.	Procedimiento para la compensación de imágenes térmicas	233
3.4.6.2.1.	Temperatura de objetos de emisividad desconocida.....	234
3.4.6.2.2.	Determinación del valor de emisividad de objetos	234
3.4.6.2.3.	Determinación de la temperatura aparente reflejada	234
3.4.6.3.	Diagrama de flujo	235
3.4.7.	Análisis de información	235
3.4.7.1.	Termografías de referencia	235
3.4.8.	Glosario	238
3.4.9.	Bibliografía	239
3.5.	ENSAYO DE POTENCIAL DE CORROSIÓN	240
3.5.1.	Objetivo.....	242

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página 15 de 473



UNIVERSIDAD DE CUENCA

3.5.2.	Normas.....	242
3.5.3.	Usos.....	242
3.5.4.	Alcance.....	242
3.5.5.	Materiales y Equipo	243
3.5.6.	Procedimiento.....	243
3.5.6.1.	Diagrama de flujo	245
3.5.7.	Análisis de información	246
3.5.7.1.	Tablas de correlaciones para el potencial de media celda	246
3.5.8.	Glosario	247
3.5.9.	Bibliografía	247
3.6.	ENSAYO DE ULTRASONIDO	248
3.6.1.	Objetivo.....	250
3.6.2.	Normas.....	250
3.6.3.	Usos.....	250
3.6.4.	Alcance.....	250
3.6.5.	Materiales y Equipo	251
3.6.6.	Procedimiento.....	252
3.6.6.1.	Diagrama de flujo	253
3.6.7.	Análisis de información	254
3.6.7.1.	Transmisión directa y semidirecta.....	254
3.6.7.1.1.	Cálculo de la velocidad de pulso para la transmisión directa y semidirecta.....	254
3.6.7.2.	Transmisión indirecta	254
3.6.7.2.1.	Corrección en transmisión indirecta	254
3.6.7.2.2.	Cálculo de la velocidad de pulso por el método indirecto.	254
3.6.7.2.3.	Cálculo del espesor de la capa de hormigón afectada	256
3.6.7.2.4.	Cálculo de la profundidad de la fisura.....	256
3.6.7.2.5.	Determinación de la dirección de Inclínación de la fisura	258
3.6.7.3.	Clasificación del hormigón según la velocidad de pulso.....	258
3.6.8.	Glosario	259
3.6.9.	Bibliografía	260
3.7.	ENSAYO DE MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DE ONDA-P Y ESPESOR DE PLACAS DE CONCRETO, MÉTODO IMPACTO-ECO	261
3.7.1.	Objetivo.....	263

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página 16 de 473



UNIVERSIDAD DE CUENCA

3.7.2.	Normas.....	263
3.7.3.	Usos.....	263
3.7.4.	Alcance.....	263
3.7.5.	Materiales y Equipo	264
3.7.5.1.	Materiales y Equipo – Método A.....	264
3.7.5.2.	Materiales y Equipo – Método B.....	264
3.7.6.	Procedimiento.....	265
3.7.6.1.	Procedimiento - Método A.....	265
3.7.6.1.1.	Diagrama de flujo – Método A.....	267
3.7.6.2.	Procedimiento – Método B	267
3.7.6.2.1.	Diagrama de flujo – Método B	268
3.7.7.	Análisis de información	269
3.7.7.1.	Análisis de información – Método A.	269
3.7.7.1.1.	Medición de la velocidad de Onda-P.....	269
3.7.7.1.2.	Medición del espesor.....	270
3.7.7.1.3.	Detección de defectos internos	270
3.7.7.1.4.	Medición de profundidad de grietas superficiales	270
3.7.7.2.	Análisis de información – Método B.	271
3.7.7.3.	Precisión de ensayos	272
3.7.8.	Glosario.....	273
3.7.9.	Bibliografía	273
3.8.	ENSAYO DE CARBONATACIÓN	274
3.8.1.	Objetivo.....	276
3.8.2.	Normas.....	276
3.8.3.	Usos.....	276
3.8.4.	Alcance.....	276
3.8.5.	Materiales y Equipo	277
3.8.6.	Procedimiento.....	277
3.8.6.1.	Diagrama de flujo	278
3.8.7.	Análisis de información	279
3.8.7.1.	Interpretación de datos.....	279
3.8.7.2.	Cálculos	279
3.8.8.	Glosario.....	280

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **17** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

3.8.9.	Bibliografía	280
3.9.	ENSAYO DE ADHERENCIA (PULL OFF)	281
3.9.1.	Objetivo.....	283
3.9.2.	Normas.....	283
3.9.3.	Usos.....	283
3.9.4.	Alcance.....	283
3.9.5.	Materiales y Equipo	283
3.9.6.	Procedimiento.....	284
3.9.6.1.	Diagrama de flujo	285
3.9.7.	Análisis de información	285
3.9.7.1.	Tipos de falla en el ensayo de adherencia	286
3.9.7.2.	Cálculo del esfuerzo de tensión	286
3.9.7.2.1.	Análisis de resultados	287
3.9.8.	Glosario	287
3.9.9.	Bibliografía	288
3.10.	ENSAYO DE NÚCLEOS PERFORADOS	289
3.10.1.	Objetivo.....	291
3.10.2.	Normas.....	291
3.10.3.	Usos.....	291
3.10.4.	Alcance.....	291
3.10.5.	Materiales y Equipo	292
3.10.6.	Procedimiento.....	292
3.10.6.1.	Recomendaciones previas al ensayo	292
3.10.6.2.	Procedimiento para extracción de núcleos	293
3.10.6.3.	Diagrama de flujo	297
3.10.6.4.	Procedimiento post extracción	297
3.10.7.	Análisis de información	298
3.10.7.1.	Corrección por esbeltez	298
3.10.7.2.	Criterios para la aceptación de resistencia de núcleos.....	298
3.10.8.	Glosario	298
3.10.9.	Bibliografía	299
3.11.	ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA	300
3.11.1.	Objetivo.....	302

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **18** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

3.11.2.	Normas.....	302
3.11.3.	Usos.....	302
3.11.4.	Alcance.....	302
3.11.5.	Materiales y Equipo	303
3.11.6.	Procedimiento.....	303
3.11.6.1.	Diagrama de flujo	305
3.11.7.	Análisis de información	306
3.11.7.1.	Interpretación de resultados.....	306
3.11.7.2.	Corrección por Carbonatación	307
3.11.7.2.1.	Factor de corrección por profundidad de carbonatación	307
3.11.7.2.2.	Coeficiente de tiempo.....	307
3.11.7.2.2.1.	Cálculos	307
3.11.7.3.	Correlación con Núcleos Perforados	308
3.11.8.	Glosario	308
3.11.9.	Bibliografía	309
3.12.	ENSAYO DE RESISTENCIA A LA EXTRACCIÓN POR DESLIZAMIENTO (PULL OUT)	310
3.12.1.	Objetivo.....	312
3.12.2.	Normas.....	312
3.12.3.	Usos.....	312
3.12.4.	Alcance.....	312
3.12.5.	Materiales y Equipo	313
3.12.5.1.	Equipo de “Pull Out” para estructuras en construcción o nuevas	313
3.12.5.2.	Equipo de “Pull Out” para estructuras existentes o antiguas.....	314
3.12.6.	Procedimiento.....	316
3.12.6.1.	Procedimiento de “Pull Out” para estructuras en construcción o nuevas (Lok-Test).....	316
3.12.6.1.1.	Diagrama de flujo.....	317
3.12.6.2.	Procedimiento de “Pull Out” para estructuras en existentes o antiguas (Capo-Test)	318
3.12.6.2.1.	Diagrama de flujo.....	322
3.12.7.	Análisis de información	322
3.12.7.1.	Interpretación de datos.....	322
3.12.7.1.1.	Rechazo de datos	322
3.12.7.1.2.	Resistencia estimada.....	322
3.12.8.	Glosario	323

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página 19 de 473



UNIVERSIDAD DE CUENCA

3.12.9.	Bibliografía	324
3.13.	ENSAYO DE MADUREZ PARA LA ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA DE CONCRETO EN OBRA	325
3.13.1.	Objetivo.....	327
3.13.2.	Normas.....	327
3.13.3.	Usos.....	327
3.13.4.	Alcance.....	327
3.13.5.	Materiales y Equipo	328
3.13.5.1.	Sensor de resistencia y temperatura.....	328
3.13.5.2.	Software.....	329
3.13.6.	Procedimiento.....	329
3.13.6.1.	Procedimiento en laboratorio para obtener la relación resistencia-madurez.....	329
3.13.6.1.1.	Diagrama de flujo para procedimiento en laboratorio	331
3.13.6.2.	Procedimiento para estimar la resistencia del hormigón en obra.....	331
3.13.6.2.1.	Diagrama de flujo para procedimiento en obra	332
3.13.7.	Análisis de información	332
3.13.7.1.	Madurez	332
3.13.7.2.	Aplicación Giatec SmartRock.....	333
3.13.8.	Glosario	334
3.13.9.	Bibliografía	335
CAPÍTULO IV: ÁRBOLES DE SOLUCIONES		336
Introducción		338
Árbol de soluciones basado en patologías.....		338
Árbol de soluciones basado en daños observados		339
4.1.	ÁRBOLES DE SOLUCIONES BASADOS EN PATOLOGÍAS.....	340
4.2.	ÁRBOLES DE SOLUCIONES BASADOS EN DAÑOS VISIBLES	354
CAPÍTULO V: EJEMPLO DE APLICACIÓN		359
Introducción		362
Informe preliminar		363
Nombre del proyecto		363
Ubicación geográfica		363
Zona de amenaza sísmica		363
Descripción del problema.....		364
Fase de documentación.....		365

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **20** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Inspección Visual	366
Clasificación de patologías identificadas en la inspección visual	369
Daños determinados en la inspección visual	370
Árboles de soluciones	370
INFORME TÉCNICO	383
Objetivo	384
Evaluación de la estructura	384
Alcance	384
Ensayos realizados	384
Resultados de la evaluación	385
Ensayo de Carbonatación	385
Ensayo de Esclerometría	386
Ensayo de Núcleos perforados	386
Ensayo de Adherencia	387
Levantamiento de fisuras	387
Ensayo de Ultrasonido	393
Levantamiento de oquedades	394
Ensayo de Potencial de corrosión	394
Análisis de resultados	397
Ensayo de Carbonatación	397
Ensayo de Esclerometría y Núcleos perforados	398
Ensayo de Adherencia	399
Levantamiento de fisuras y Ensayo de Ultrasonido	399
Levantamiento de oquedades	399
Ensayo de Potencial de corrosión	399
Recomendaciones de rehabilitación	399
Anexos	404
Anexo 1: Fotografías	404
Profundidad de carbonatación	404
Esclerometría	405
Núcleos perforados	405
Adherencia	406
Levantamiento de fisuras y Ultrasonido	406

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **21** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Levantamiento de oquedades	407
Potencial de corrosión	407
Anexo 2: Plantilla ensayo de Carbonatación.....	408
Anexo 3: Plantilla ensayo de Esclerometría	409
Anexo 4: Plantilla ensayo de Núcleos perforados.....	410
Anexo 5: Plantilla ensayo de Adherencia.....	411
Anexo 6: Plantilla ensayo de Ultrasonido	412
Anexo 7: Plantilla ensayo de Potencial de corrosión	413
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y PLANTILLAS.....	414
6.1. Conclusiones.....	417
6.1.1. Patologías.....	417
6.1.2. Ensayos	417
6.1.3. Árboles	417
6.1.4. Ejemplo	418
6.2. Recomendaciones.....	418
6.3. Bibliografía.....	419
6.4. PLANTILLAS	431
PESOS PATOLOGÍAS.....	432
Instrucción de llenado en plantilla.....	433
FASE PRELIMINAR.....	434
Instrucción de llenado en plantilla.....	435
INSPECCIÓN VISUAL.....	436
Instrucción de llenado en plantilla.....	437
Instrucción de llenado en plantilla.....	441
ENSAYO GPR PARA EVALUACIÓN DEL CONCRETO.....	442
Instrucción de llenado en plantilla.....	443
ENSAYO DE TERMOGRAFÍA INFRARROJA	445
Instrucción de llenado en plantilla.....	446
ENSAYO DE POTENCIAL DE CORROSIÓN	448
Instrucción de llenado en plantilla.....	449
ENSAYO DE ULTRASONIDO - TRANSMISIÓN SEMI DIRECTA Y DIRECTA	450
Instrucción de llenado en plantilla.....	451
Instrucción de llenado en plantilla.....	453

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **22** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

ENSAYO DE MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DE ONDA-P Y ESPESOR DE PLACAS DE CONCRETO, MÉTODO IMPACTO-ECO	455
Instrucción de llenado en plantilla.....	456
ENSAYO DE CARBONATACIÓN	458
Instrucción de llenado en plantilla.....	459
ENSAYO DE ADHERENCIA (PULL OFF)	460
Instrucción de llenado en plantilla.....	461
ENSAYO DE NÚCLEOS PERFORADOS - ENSAYO DE COMPRESIÓN	463
Instrucción de llenado en plantilla.....	464
ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA.....	466
Instrucción de llenado en plantilla.....	467
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA EXTRACCIÓN POR DESLIZAMIENTO (PULL OUT).....	469
Instrucción de llenado en plantilla.....	470
ENSAYO DE MADUREZ PARA LA ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA DE CONCRETO EN OBRA	472
Instrucción de llenado en plantilla.....	473

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **23** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Patologías y su descripción. Fuente: (Autores)	47
Tabla 2 Recubrimiento exigido por el ACI 318. Fuente: (ACI 318, 2014)	55
Tabla 3 Tolerancias en los elementos. Fuente: (Emmons, 2005).....	66
Tabla 4 Probabilidad de agrietamiento por asentamiento. Fuente: (Emmons, 2005)	68
Tabla 5 Temperatura de la armadura de recubrimiento en un incendio. Fuente: (Vega & Burón, 2007)	92
Tabla 6 Pérdida de resistencia en el acero y hormigón. Fuente: (Vega & Burón, 2007)	92
Tabla 7 Disminución del módulo de elasticidad en el acero y hormigón. Fuente: (Vega & Burón, 2007)	92
Tabla 8 Ancho tolerable bajo distintas condiciones. Fuente: (ACI 224R, 2001)	124
Tabla 9 Porcentaje de iones de cloruro bajo distintas condiciones. Fuente: (ACI 201.2R, 2001).....	125
Tabla 10 Valores del factor Z en función de la zona sísmica. Fuente: (NEC-SE-DS, 2014).....	154
Tabla 11 Asentamientos máximos. Fuente: (Das, 2012).....	173
Tabla 12 Limitaciones de las sustancias en el agua. Fuente: (Porto Quintián, 2005)	179
Tabla 13 Ventajas y desventajas de los END. Fuente: (Autores)	184
Tabla 14 Ventajas y desventajas de los ESD. Fuente: (Autores)	185
Tabla 15 Nomenclatura de daños causados por los ensayos. Fuente: (Autores)	185
Tabla 16 Clasificación y características de ensayos. Fuente: (Autores)	186
Tabla 17 Clasificación y características de ensayos. Fuente: (Autores)	187
Tabla 18 Clasificación y características de ensayos. Fuente: (Autores)	188
Tabla 19 Clasificación y características de ensayos. Fuente: (Autores)	189
Tabla 20 Parámetros a determinar según el ensayo. Fuente: (Autores).....	190
Tabla 21 Variables de la fase de documentación. Fuente: (Díaz Barreiro, 2014)	194
Tabla 22 Variables de la fase de observación en campo. Fuente: (Díaz Barreiro, 2014)	195
Tabla 23 Pesos recomendados para las patologías. Fuente: (Autores).....	198
Tabla 24 Tipos de antenas según frecuencia, profundidad de penetración y aplicaciones para equipos GSSI, ensayo GPR. Fuente: (GSSI; Pellicer, 2014)	211
Tabla 25 Longitudes de onda en el vacío para frecuencias del GPR, ensayo GPR. Fuente: (Aguilera, 2013)	212
Tabla 26 Propiedades electromagnéticas aproximadas para diferentes materiales, ensayo GPR. Fuente: (ASTM D6432, 2011)	219
Tabla 27 Criterio de Stratful para potenciales de corrosión como porcentaje de probabilidad de corrosión, ensayo de potencial de media celda. Fuente: (A. A. Torres et al., 2006)	246
Tabla 28 Criterio de probabilidad de corrosión según ASTM, ensayo de potencial de media celda. Fuente: (ASTM C876, 2015)	246
Tabla 29 Potenciales de corrosión como criterio de la condición de la varilla, ensayo de potencial de media celda. Fuente: (A. A. Torres et al., 2006).....	246
Tabla 30 Clasificación según Leslie y Cheesman, ensayo de ultrasonido. Fuente: (Pellicer, 2014)	258
Tabla 31 Clasificación según Agrava, ensayo de ultrasonido. Fuente: (Pellicer, 2014)	259
Tabla 32 Velocidad mínima en estructuras típicas, ensayo de ultrasonido. Fuente: (Pellicer, 2014)	259
Tabla 33 Factor de corrección por esbeltez, ensayo de Núcleos perforados. Fuente: (ASTM C42, 2004)	298
Tabla 34 Factores de corrección por profundidad de carbonatación, ensayo de esclerometría. Fuente: (Sanjuán Fernández, 2014).....	307
Tabla 35 Tiempos máximos y mínimos, ensayo Pull Out. Fuente: (ASTM C900, 2006).....	317
Tabla 36 Ejemplo de datos de madurez y resistencia, ensayo de madurez. Fuente: (Bellido de Luna, 2017c).....	330
Tabla 37 Patologías generales y específicas del puente. Fuente: (Autores)	369
Tabla 38 Daños visibles identificados en la inspección visual. Fuente: (Autores)	370

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página 24 de 473



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Tabla 39 Tipo de ensayo practicado por elemento. Fuente: (Mogrovejo Carrasco & García, 2006).....	384
Tabla 40 Resultados del ensayo de Carbonatación, obtenidos de (Mogrovejo Carrasco & García, 2006).....	385
Tabla 41 Resultados del ensayo de Esclerometría, obtenidos de (Mogrovejo Carrasco & García, 2006)	386
Tabla 42 Resultados del ensayo de Núcleos perforados, obtenidos de (Mogrovejo Carrasco & García, 2006)	386
Tabla 43 Resistencia a compresión corregida, con los datos obtenidos de (Mogrovejo Carrasco & García, 2006)	387
Tabla 44 Resultados del ensayo de Adherencia, obtenidos de (Mogrovejo Carrasco & García, 2006)	387
Tabla 45 Resultados del levantamiento de fisuras, obtenidos de (Mogrovejo Carrasco & García, 2006).....	392
Tabla 46 Resultados del ensayo de Ultrasonido, obtenidos de (Mogrovejo Carrasco & García, 2006)	393
Tabla 47 Resultados del levantamiento de oquedades, obtenidos de (Mogrovejo Carrasco & García, 2006)	394
Tabla 48 Criterio de probabilidad de corrosión según ASTM, ensayo de potencial de media celda. Fuente: (ASTM C876, 2015)	394
Tabla 49 Resultados del ensayo de Ultrasonido, obtenidos de (Mogrovejo Carrasco & García, 2006)	395
Tabla 50 Vida remanente de los pórticos. Fuente: (Autores)	398
Tabla 51 Recomendaciones para rehabilitación. Fuente: (Mogrovejo Carrasco & García, 2006)	403

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **25** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

ÍNDICE DE DIAGRAMAS DE FLUJOS

Diagrama de Flujo 1 Procedimiento para detección de armaduras. Fuente: (Autores).....	205
Diagrama de Flujo 2 Procedimiento para identificar el espesor de la losa y ubicación de varillas, ensayo GPR. Fuente: (Autores)	217
Diagrama de Flujo 3 Procedimiento para evaluación de puentes, ensayo GPR. Fuente: (Autores).....	217
Diagrama de Flujo 4 Procedimiento para evaluación del pavimento, ensayo GPR. Fuente: (Autores).....	218
Diagrama de Flujo 5 Procedimiento para Termografía infrarroja. Fuente: (Autores)	235
Diagrama de Flujo 6 Procedimiento para Potencial de corrosión. Fuente: (Autores).....	245
Diagrama de Flujo 7 Procedimiento para Ultrasonido. Fuente: (Autores).....	253
Diagrama de Flujo 8 Procedimiento para Velocidad de Onda-P Método A, ensayo de Eco-Impacto. Fuente: (Autores)	267
Diagrama de Flujo 9 Procedimiento para Velocidad de Onda-P Método B, ensayo de Eco-Impacto. Fuente: (Autores)	268
Diagrama de Flujo 10 Procedimiento para ensayo de Carbonatación. Fuente: (Autores)	278
Diagrama de Flujo 11 Procedimiento para ensayo de Adherencia (Pull Off). Fuente: (Autores)	285
Diagrama de Flujo 12 Procedimiento para ensayo de Núcleos perforados. Fuente: (Autores)	297
Diagrama de Flujo 13 Procedimiento de Esclerometría. Fuente: (Autores).....	305
Diagrama de Flujo 14 Procedimiento para estructuras nuevas, ensayo Pull Out. Fuente: (Autores)	317
Diagrama de Flujo 15 Procedimiento para estructuras antiguas, ensayo Pull Out. Fuente: (Autores)	322
Diagrama de Flujo 16 Procedimiento para laboratorio, ensayo de madurez. Fuente: (Autores)	331
Diagrama de Flujo 17 Procedimiento para obra, ensayo de madurez. Fuente: (Autores)	332

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **26** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Cláusula de Propiedad Intelectual

André Mateo Ortega Palacios, autor del trabajo de titulación "Manual práctico de evaluación patológica y control de la condición en estructuras de hormigón mediante ensayos no destructivos y semi-destructivos", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 4 de marzo de 2021

André Mateo Ortega Palacios

C.I: 0106670664

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **27** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Cláusula de Propiedad Intelectual

Juan José Vanegas López, autor del trabajo de titulación “Manual práctico de evaluación patológica y control de la condición en estructuras de hormigón mediante ensayos no destructivos y semi-destructivos”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 4 de marzo de 2021

Juan José Vanegas López

C.I: 0104830211

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página 28 de 473



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

André Mateo Ortega Palacios en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Manual práctico de evaluación patológica y control de la condición en estructuras de hormigón mediante ensayos no destructivos y semi-destructivos", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 4 de marzo de 2021

André Mateo Ortega Palacios

C.I: 0106670664

Vigencia desde:	Página 29 de 473
Marzo-2021	



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Juan José Vanegas López en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “Manual práctico de evaluación patológica y control de la condición en estructuras de hormigón mediante ensayos no destructivos y semi-destructivos”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 4 de marzo de 2021

Juan José Vanegas López

C.I: 0104830211

Vigencia desde:	Página 30 de 473
Marzo-2021	



UNIVERSIDAD DE CUENCA

AGRADECIMIENTO

Este trabajo de titulación no hubiera sido posible sin la guía, apoyo y ayuda de nuestro Director, Ingeniero Daniel Mogrovejo, quien siempre estuvo pendiente y dispuesto a resolver cualquier inquietud y compartir sus conocimientos durante la elaboración del estudio.

Al Ingeniero Marco Romero, quien desde el primer día nos brindó su apoyo y mostró interés en nuestro tema de estudio, mediante su buena disposición para facilitarnos su información y experiencia en esta área de la ingeniería en nuestro medio.

A la Universidad de Cuenca, especialmente a la Facultad de Ingeniería, cuyos profesionales nos ayudaron a formarnos y prepararnos para nuestra vida profesional.

A nuestros amigos, que hicieron más amena la vida universitaria.

Por último, pero una gratitud no menos importante, a nuestra familia que nos apoyó en cada paso de nuestras vidas.

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **31** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

DEDICATORIA

A mi familia, por ser mi constante apoyo durante mi travesía por esta exigente carrera. En especial a mi abuelo que de seguro está orgulloso de mi en el cielo, quien me inculcó valores y me indicó la importancia de formarse como profesional.

A mi compañero de tesis con quien formé un equipo de trabajo excepcional, quien me acogió en su casa durante estos meses de trabajo de titulación.

A los amigos, quienes siempre estuvieron dispuestos a ayudarme cuando lo requería.

Mateo.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

DEDICATORIA

A Dios y a la vida por siempre rodearme de personas increíbles que me han impulsado en todo momento a cumplir mis metas.

A mis padres y hermano, quienes me han brindado su apoyo en cada día de mi vida, principalmente en los momentos difíciles.

A mi abuelita, tíos y primo, quienes siempre estuvieron pendientes de mi en cada paso y han sido otros padres y hermano cuando lo necesité.

A Paz, quien durante los últimos años me apoyó día a día para nunca rendirme, formando el mejor equipo y siendo el impulso extra que requería.

A Mateo, por su dedicación y apoyo durante la elaboración de nuestro trabajo de titulación.

Juan V.

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **33** de **473**

CAPÍTULO I: CAPÍTULO INTRODUCTORIO



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Contenido

CAPÍTULO I: CAPÍTULO INTRODUCTORIO	34
1.1. Introducción.....	36
1.2. Antecedentes.....	37
1.3. Definición del problema.....	37
1.4. Justificación	38
1.5. Alcance	38
1.6. Metodología	39
1.7. Objetivos.....	40
1.7.1. Objetivo general.....	40
1.7.2. Objetivos específicos.....	41
1.8. Marco teórico	41
1.8.1. Ingeniería forense	41
1.8.2. Ingeniero forense	41
1.8.2.1. Cualidades del ingeniero forense	42
1.8.3. Método científico en la ingeniería forense	43
1.8.4. Patologías del hormigón.....	44

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **35** de **473**



1.1. Introducción

Las estructuras deben cumplir con la vida útil para la que fueron diseñadas. Para el cumplimiento es necesario que durante todo el proceso se respete o se cumpla con la normativa vigente. El proceso comienza con un correcto diseño, el cual debe cumplir con los parámetros establecidos por la norma, según la zona en la que se encuentre la estructura, los peligros que se pueden presentar y el uso que se va a dar a la construcción. Los procesos constructivos han de ser controlados para cumplir con las especificaciones técnicas establecidas. Para un correcto funcionamiento de la obra, es recomendado realizar mantenimientos cuando sea necesario, no cambiar el uso de la estructura o no realizar modificaciones en la misma.

Con el paso del tiempo las estructuras de hormigón comienzan a presentar problemas en su funcionamiento, fisuras o agrietamientos, pérdida de recubrimiento, corrosión del acero de refuerzo, entre otros. Las causas para que estos desperfectos ocurran son diversas (diseño defectuoso, errores constructivos, condiciones de exposición, sismos, suelos inestables o modificaciones en lo edificado) y deben ser evaluados de acuerdo con su origen para una correcta identificación y análisis de los mismos.

En la actualidad la evaluación de la condición de la infraestructura, actividad principal de la ingeniería forense, va cobrando más importancia debido a la demanda de investigación del comportamiento y deterioro de estructuras de edificaciones. Existen varios ensayos que permiten evaluar de forma cuantitativa el deterioro o la condición de la construcción, el ACI 228 clasifica a los ensayos en métodos no destructivos y métodos in-situ; además, otros autores añaden la categoría de métodos destructivos o semi-destructivos. Estos métodos se han desarrollado con el fin de obtener valores que ayuden a cuantificar el daño en los elementos estructurales para realizar una intervención oportuna y eficiente, logrando evitar catástrofes de diferentes escalas, o incluso en el ámbito legal, para resolver conflictos de responsabilidad ante la justicia.

Es importante conocer más a fondo los métodos y ensayos que se pueden utilizar, de acuerdo con las patologías presentes en la construcción; para saber las ventajas, limitaciones, parámetros que se obtienen y saber analizar los mismos. Con esto se consigue una idea más clara sobre la planeación y procedimientos para evaluar la estructura.

Teniendo conocimiento de los daños y la magnitud de los mismos en la obra se pueden presentar informes técnicos sobre la condición de la infraestructura en análisis, los cuales pueden contener posibles soluciones de intervención para mejorar el estado estructural.



1.2. Antecedentes

Los primeros ejemplos de investigación en el campo de la ingeniería forense se dan en el Reino Unido, a partir de 1847, con el accidente ferroviario del puente de Dee en Chester, que dejó un trágico resultado de cinco muertes. Algo similar ocurrió con el puente de Tay en 1879 en Dundee, donde la construcción se derrumbó justo cuando el tren pasaba por esta, matando a todos los que iban a bordo. Las investigaciones sobre estos sucesos fueron las primeras en el ámbito de la ingeniería forense; en el caso del primer puente, se determinó que la flexión repetida hizo que la viga se debilitara sustancialmente y se concluyó que el diseño fue bastante defectuoso; por otra parte, para el segundo puente, se formó una comisión que determinó que en el diseño no se dimensionó adecuadamente la carga de viento, las estructuras tenían un control de calidad deficiente y había insuficiencia de refuerzos transversales o arriostramientos. (R. Noon, 1992)

En los tiempos modernos, últimos 70 u 80 años, algunos países han sufrido costosas pérdidas en múltiples obras, a consecuencias de eventos de origen tanto natural como tecnológico o antropogénico. La experiencia ha demostrado que en la práctica de la ingeniería estructural, el desempeño inadecuado de obras está relacionado con errores en la evaluación o selección de las acciones externas, fallas en el modelado o de diseño que afectan el dimensionamiento de elementos portantes, errores u omisiones durante la ejecución de algunas obras y acciones o efectos imprevistos de la naturaleza (Grases, 2011). En el ámbito local la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) dispone la aplicación obligatoria de construcciones con diseño para resistir sismos, pero el mayor porcentaje de construcciones en el país son informales y no toman en cuenta los requisitos establecidos en la norma.

En el Ecuador, en la actualidad, existen profesionales dedicados a evaluar los daños en la funcionalidad de las estructuras. En el ámbito legal, en Cuenca, los peritos deben ser previamente calificados por el Consejo de la Judicatura y deben cumplir con las regulaciones y normativa vigentes del Reglamento del sistema pericial integral de la función judicial. Estos profesionales tienen la capacidad para evaluar el daño en una estructura, además pueden estar calificados para avaluar bienes muebles o inmuebles y tienen la última palabra al momento del juicio. Por esto el perito debe cumplir con algunos requisitos como: ejercer la profesión de ingeniero civil por al menos dos años, presentar certificados que acrediten el conocimiento y experiencia, etc. Para desempeñar este cargo es importante la ética, debido a que el juez confía totalmente en el criterio profesional; para esto, toda la evaluación debe estar sustentada en normativas y ser presentada en un informe técnico que es fundamental en el juicio. (M. Romero, comunicación personal, 02 de noviembre de 2020)

1.3. Definición del problema

El hormigón es el material más utilizado en el Ecuador para las construcciones de cimientos y estructuras de viviendas según la última encuesta de edificaciones de la INEC (El Universo, 2018; INEC, 2016), pese a que la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) obliga que las construcciones sean sismorresistentes, las edificaciones informales alcanzan un 70% en el país, lo cual es un factor de riesgo muy importante (Vizuite, 2016). Uno de los ejemplos más importantes es el sismo que tuvo lugar en Pedernales-Manabí de 7.8 grados en la escala de Richter, donde 1.125 edificaciones colapsaron en todo el país causando la muerte de 660 personas y pérdidas económicas que rondan los 3.344 millones de dólares (Aguar Falconi, 2017). Los estudios mostraron que las edificaciones cayeron por exceso de pisos o exceso de peso, como el Hotel Royal de Pedernales, que colapsó totalmente. Las principales fallas fueron el mal diseño de las columnas, diámetros



UNIVERSIDAD DE CUENCA

de varillas de acero de refuerzo incorrectos, cuantías deficientes, detallado incorrecto, mala proporción en la mezcla de hormigón, entre otros (Vizuete, 2016). Además, en la costa ecuatoriana es muy cuestionable la calidad de materiales que se usan en la construcción, por ejemplo: el agua que se utiliza, en muchas ocasiones tiene sales minerales que perjudican la mezcla de concreto. La arena de mar no sirve para construir porque sus partículas no son iguales y causa corrosión de las varillas de refuerzo (Vizuete, 2016). Otros de los agravantes, según Chuquimarca (2016), de los efectos negativos del sismo de Manabí fueron los errores constructivos, configuraciones de edificaciones no recomendadas y falta de consideración de factores de seguridad.

No solo en la costa se detectan fallas en las construcciones, en Cuenca, según el mapa de riesgos elaborado por la Red Sísmica del Austro y la Cámara de Construcción de Cuenca, el 50% de las viviendas colapsaría con un sismo superior a los 8 grados en la escala de Richter por dos importantes razones: la primera, que la ciudad está asentada sobre la falla de Girón y se tienen 27 zonas vulnerables a deslizamientos; y la segunda, que las viviendas están construidas sin respetar las normas técnicas del país. Hay edificios que utilizan un hormigón de 60 kilogramos por centímetro cuadrado de resistencia, cuando lo mínimo es 210. Existen defectos de colocación de varillas de las vigas y encofrado, además de utilizar arenas con impurezas que reducen la resistencia del hormigón (Castillo, 2016). En el Ecuador no existe una guía de intervención o normativa para la valoración de los daños presentes en las estructuras de hormigón. Las autoridades municipales en el 2016 propusieron a las universidades y colegios de profesionales que elaboraran una ordenanza para normar los métodos constructivos, materiales y creación de laboratorios. Otra propuesta que hizo la Cámara de la Construcción es crear un órgano independiente para que se encargue de la fiscalización (Castillo, 2016), pero hasta la fecha no hay nada en concreto.

1.4. Justificación

Es importante tener en cuenta, y por escrito, los procesos de evaluación mediante los cuales se puedan determinar cualitativa y cuantitativamente los daños o deterioros de las edificaciones y sus causas. Para conocer estas es necesario informarse sobre las principales patologías de las estructuras de hormigón en nuestra región, después sobre los ensayos y sus procedimientos de aplicación que se pueden realizar en aquellas para obtener una mejor valoración del estado de la estructura; estos temas se tratan a profundidad en este manual para que sea una herramienta útil. Con esto se busca, que los ingenieros forenses, peritos judiciales, encargados de avalúos de bienes muebles e inmuebles, estudiantes y profesionales relacionados al área tengan un manual en el que se expliquen los criterios y procedimientos claros que se deben seguir para realizar los ensayos correctamente y valorar el estado actual de la estructura. Con esta investigación se busca fomentar el cumplimiento de las normativas para reducir la cantidad de construcciones informales y sus posibles colapsos estructurales.

1.5. Alcance

El manual abarca seis capítulos, en los cuales se indican las principales patologías de las estructuras de hormigón, los ensayos destructivos y no destructivos fundamentales utilizados en nuestra región, árboles de soluciones, un ejemplo de aplicación real del manual y plantillas de referencia con su respectivo instructivo de llenado, de cada ensayo, para tabular los resultados obtenidos y sus observaciones.

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **38** de **473**



- En la sección de patologías se muestran ocho grupos de patologías que se dividen en subgrupos, teniendo un total de cuarenta y cinco patologías; en cada una se muestran las causas, características, consecuencias y ejemplo.
- En el capítulo de ensayos se presenta la inspección visual, la cual se divide en fase de documentación y en fase de observación de campo. Los ensayos se clasifican en no destructivos, semi-destructivos e in place. El manual incluye los objetivos, normas, procedimiento con un diagrama de flujo en cada ensayo y análisis de la información. Se tienen siete ensayos no destructivos (END), incluida la inspección visual, tres ensayos semi-destructivos (ESD) y tres ensayos in-place (EIP).
- Los árboles de soluciones indican el camino a seguir para una correcta elección de ensayos, basándose en las patologías o daños observados. Se plantean caminos para cada una de las cuarenta y cinco patologías estudiadas y para diecisiete daños observados, considerados los más importantes.
- Como parte del manual se presenta un ejemplo de la vida real realizado en la ciudad de Cuenca, el puente Asunción, en el cual se incluye un informe preliminar y un informe técnico, donde se muestra la aplicabilidad del manual.
- Se elaboraron plantillas para cada ensayo, en cada caso se incluye un instructivo de llenado donde se indica la correcta tabulación de los datos y, de ser necesario, las fórmulas y tablas que deben ocuparse.

Con la aplicación del manual se puede evaluar la condición de la construcción, sin embargo, este estudio no incluye procesos de rehabilitación y reparación de las estructuras de hormigón, porque para esto se requiere la intervención o asesoría de especialistas en áreas específicas, como: estructurales, suelos o materiales de reparación.

1.6. Metodología

Para elegir una correcta estructura del manual, se tomaron en cuenta guías especializadas como:

- Guía Técnica para la Elaboración de Manuales de Procedimientos (UNAM, 1994)
- Guía para la Elaboración de Manuales de Procedimientos (Dirección de Planeación y Desarrollo-Oaxaca, 2019)
- Guía Técnica para la Elaboración de Manuales de Procedimientos (Secretaría de Relaciones Exteriores-México, 2004)

El manual está dividido en seis capítulos:

Capítulo I: Capítulo Introductorio

En este se explican los antecedentes, la problemática y justificación, el alcance del manual, la metodología de su elaboración, los objetivos y el marco teórico.

Capítulo II: Patologías

En el preámbulo se muestra una tabla resumen de las patologías con su respectiva sección, descripción y origen.

Se realizó una recopilación de información sobre las principales patologías que afectan a las estructuras de hormigón y se las dividió en ocho grupos:

- Patologías por intervención humana.
- Patologías por efectos térmicos.
- Patologías por efectos de humedad.
- Procesos de desintegración.



- Corrosión del acero de refuerzo.
- Patologías por efectos de cargas.
- Patologías por acción sísmica.
- Otras patologías.

En la sección de “Otras patologías” se indican las principales patologías ocasionadas por los suelos y por los materiales constituyentes.

Cada grupo de patologías se divide en subgrupos en donde se indican las causas, características, consecuencias y ejemplos reales.

Capítulo III: Ensayos

La introducción del capítulo contiene las ventajas y desventajas tanto de los ensayos no destructivos como de los destructivos. Y una tabla de clasificación de ensayos en la que cada uno tiene su sección, principio, usos, zona de análisis, normas y daño causado.

Luego de definir los principales ensayos que se realizan en nuestra región, se buscó bibliografía sobre cada uno de ellos. Con la información obtenida se establecieron el objetivo, normas, usos, alcance, materiales y equipos, procedimiento (incluyendo su diagrama de flujo), análisis de información, glosario y bibliografía de cada ensayo.

Capítulo IV: Árboles de soluciones

En esta sección se presentan posibles caminos a seguir para la evaluación de la estructura, tomando como referencia las patologías y los daños visibles encontrados durante la inspección visual. Para cada patología o daño visible se recomiendan ensayos principales y ensayos complementarios que se pueden realizar para evaluar la condición de la estructura.

Capítulo V: Ejemplo de aplicación

En este apartado se toma un ejemplo real, de una infraestructura deteriorada de la ciudad de Cuenca, poniendo en práctica el uso del manual. Se realiza la Inspección visual y se identifican las patologías indicadas en el Capítulo II; a partir de los daños visibles observados se utilizan los árboles indicados en el Capítulo IV para definir los ensayos que se pueden realizar. Con estos datos se arma el informe preliminar sobre la infraestructura en estudio.

Se realizan los ensayos (Capítulo III) seleccionados, con ayuda de las plantillas (Capítulo VI) se toman los datos, se los analiza y se presentan en un informe técnico, que, además contiene recomendaciones para la rehabilitación de la estructura.

Capítulo VI: Conclusiones y Plantillas

En el último capítulo se muestran las conclusiones y recomendaciones sobre el contenido y uso del manual. Además, se presentan las plantillas e instructivos de llenado para cada ensayo.

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivo general

Creación de un manual práctico de intervención para evaluar estructuras de hormigón, que indique de forma clara las patologías, los ensayos y los procedimientos a seguir.



1.7.2. Objetivos específicos

- Revisar de una manera exhaustiva y significativa bibliografía de ingeniería forense, patología y metodología de creación de manuales.
- Identificar los métodos de evaluación patológica más comunes o aplicables al hormigón y al medio local y nacional. Además, elaborar una matriz resumen con la información recopilada de las patologías.
- Revisar ejemplos del medio para definir los ensayos más comunes.
- Realizar una matriz-compendio de los ensayos escogidos. Enfatizando: su definición y objetivo, usos, ventajas y desventajas.
- Realizar un marco teórico de los ensayos escogidos, incluyendo teoría base, normativas locales e internacionales.
- Complementar el manual incluyendo los pasos y la metodología a seguir en los ensayos escogidos, representando el procedimiento a través de diagramas de flujo.
- Elaborar plantillas, con su respectivo instructivo de llenado, que faciliten al usuario el registro de datos durante el ensayo.
- Desarrollar un árbol de decisiones con todos los ensayos incluidos en el manual, con el fin de facilitar la evaluación patológica a los usuarios.
- Desarrollar un ejemplo detallado, donde se indique el uso de los árboles de decisiones y del manual en general.

1.8. Marco teórico

1.8.1. Ingeniería forense

La ingeniería forense es la aplicación de principios de ingeniería, conocimientos, habilidades y metodologías para responder preguntas que pueden ser de carácter legal. Los ingenieros forenses son comúnmente llamados para analizar colapsos de edificios, colapsos de puentes, incendios, explosiones, accidentes industriales y varias otras calamidades que involucren lesiones o pérdidas importantes de propiedad. Partiendo de las lesiones o daños, el ingeniero forense reúne pruebas para realizar "ingeniería inversa" y determinar cómo ocurrió el fallo. El ingeniero forense debe buscar respuestas sobre el quién, qué, dónde, cuándo, por qué y cómo. Cuando una falla particular se ha explicado, se dice que esta ha sido "reconstruida". (Noon, 2001)

1.8.2. Ingeniero forense

Un ingeniero forense es un profesional que se ocupa de los aspectos legales de la ingeniería, además es el encargado de (Carper, 2001; Noon, 2001):

- Evaluar lo que había en la construcción antes del evento y la condición en que se encontraba.
- Evaluar lo que está presente después del evento y en qué condición se encuentra.
- Determinar causas físicas o técnicas de accidentes o fallas.
- Buscar evidencia que niegue o apoye las diversas hipótesis.
- Aplicar conocimientos y habilidades de ingeniería para relacionar los diversos hechos y evidencia en un escenario cohesivo de cómo pudo haber ocurrido el evento.
- Preparar informes.



- Presentar testimonios u opiniones que ayuden a la resolución de disputas.

Los ingenieros forenses al momento de desempeñar sus actividades descubren deficiencias de productos o de procedimientos; por lo tanto, difunden información valiosa para los diseñadores, los cuales pueden usar esta información para mejorar las prácticas de diseño y de esta manera intentar que no se repitan las fallas o accidentes. (Carper, 2001)

1.8.2.1. Cualidades del ingeniero forense

Las principales cualidades que debe tener un ingeniero forense se indican a continuación (Benítez Reynoso, 2012; Carper, 2001; Noon, 2001):

- **Competencia técnica**

El ingeniero forense debe haber demostrado competencia en su disciplina como profesional con amplia experiencia; esto, probablemente, será de mayor eficacia en su desempeño. Los ingenieros con menos experiencia pueden ser de mayor ayuda como miembros del equipo de apoyo en la investigación.

- **Conocimiento de procedimientos legales**

El vocabulario utilizado en litigios es bastante específico, si el ingeniero forense no está familiarizado con aquel puede causar un daño irreparable en el juicio. También se debe tener en cuenta que los informes no se deben presentar o publicar en momentos inapropiados.

- **Habilidades de detective**

El ingeniero forense debe recopilar hechos pertinentes del campo y documentos de importancia; gran parte de la investigación implica la interpretación de los datos recopilados. El ingeniero forense debe tener la habilidad de saber separar las evidencias importantes de elementos irrelevantes para la investigación.

Muchas pruebas se destruyen inmediatamente en algunas ocasiones (incendios, colapso estructural) por lo que se requiere una respuesta inmediata en dichos eventos.

Parte de la investigación versa sobre los estándares de diseño y propiedades de los materiales; por esta razón el ingeniero forense actúa como historiador, con el fin de encontrar la causa física y el objeto dañado, tomando en cuenta como fue diseñado y construido.

- **Otras habilidades**

Es importante que el ingeniero forense esté familiarizado con la psicología y la sociología; así también, que posea habilidades fotográficas. Asimismo, es necesario que tenga la capacidad de reconocer la necesidad de consultores especializados en otras ramas como las mencionadas, para formar parte del grupo de investigación.

- **Características de personalidad**

El ingeniero forense principalmente debe tener altos estándares éticos, estos principios se ponen a prueba en esta rama, con mayor frecuencia que en cualquier otro ámbito de la ingeniería. El ingeniero forense está obligado a ser objetivo e imparcial. Los conflictos éticos surgen principalmente porque los ingenieros forenses generalmente son contratados para defender una parte; en estos casos deben mantenerse como “buscadores de la verdad”, incluso cuando esta no sea del interés del cliente. De esta manera se establece una reputación de integridad y credibilidad.

Otra característica importante es la disponibilidad, puesto que los accidentes o fallas se pueden dar en cualquier momento, debe estar dispuesto a viajar cuando suceda el accidente. Debe demostrar confianza durante los procesos judiciales y trabajar eficazmente con otras personas.



1.8.3. Método científico en la ingeniería forense

El método científico se basa en la Pirámide de investigación, que se muestra en el Gráfico 1, y esta, a su vez, tiene analogía con el método científico.

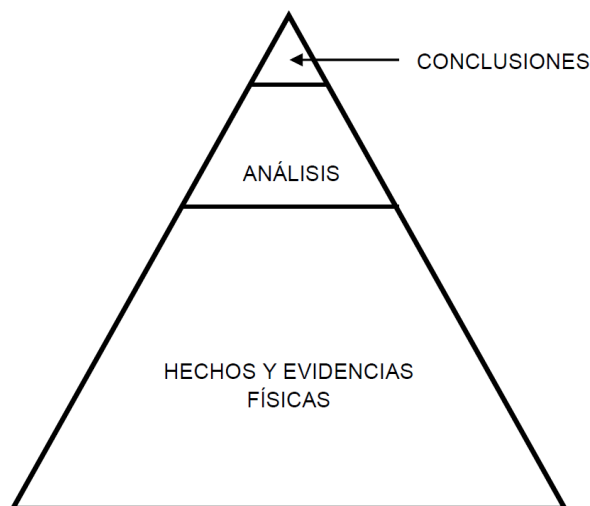


Gráfico 1 Pirámide de investigación. Fuente: (Benítez Reynoso, 2012)

Las siguientes etapas caracterizan al método científico (Benítez Reynoso, 2012):

- La observación, esta es la primera etapa del método científico; las evidencias, datos e información recogidos mediante la observación son la base de formulaciones posteriores.
- La formulación de un problema: mientras más datos se recolectan mediante la observación, se experimenta una mayor necesidad de relacionarlos o explicarlos. Aquí nacen preguntas para la formulación del problema.
- La formulación de una hipótesis; la etapa más importante del método científico. Se plantea una respuesta o explicación anticipada del mismo, la cual representará una guía en la investigación.
- La comprobación o fundamentación de la hipótesis; existen tres criterios principales para su fundamentación: la observación, la experimentación y el raciocinio.
- La formulación de leyes y teorías relacionadas, cuando una hipótesis ha sido comprobada se obtiene una tesis o ley científica.

En una falla real, la investigación se realiza en una fase empírica y otra racional, las cuales muestran la relación entre el método científico y la pirámide de investigación.

La fase empírica consiste en la observación de hechos y evidencias físicas. (Primera etapa del método científico y base de la pirámide).

La fase racional está constituida por el planteamiento del problema (Segunda etapa del método científico y "Análisis" en la pirámide). Con el planteamiento del problema nacen preguntas y formulación de hipótesis (Tercera etapa del método científico y "Análisis" en la pirámide).

La comprobación o fundamentación de la hipótesis (Cuarta etapa del método científico) puede ser empírica o racional y es planteada en el "Análisis" o "Conclusiones" de la pirámide.

Finalmente, la formulación de leyes y teorías relacionadas (Quinta etapa del método científico) tiene vínculos con las "Conclusiones" que se encuentran en la cúspide de la pirámide.



1.8.4. Patologías del hormigón

Las estructuras de hormigón son diseñadas y construidas con el fin de cubrir necesidades que garanticen el cumplimiento de la vida útil de las mismas; los requisitos pueden ser funcionales, estructurales, de seguridad o de estabilidad. Una vez finalizada la vida útil se debe analizar la factibilidad de realizar un mantenimiento costoso para que la estructura cumpla con sus funciones o, caso contrario, que la misma sea demolida.

Las patologías del concreto son el estudio sistemático de los procesos y características de las enfermedades, defectos y daños que puede sufrir el concreto, sus causas y consecuencias. Las patologías se hacen presentes, en las estructuras de hormigón, con signos de degradación, pérdidas de propiedades y características, comportamiento inadecuado y alteraciones en la estructura interna del concreto. (IMCYC, 2017)

Bibliografía

- Aguiar Falconi, R. (2017). Peligrosidad sísmica de la costa norte de Ecuador y el terremoto de Pedernales de 2016. Revista Geofísica, 1(67), 9–24. Recuperado de: <https://revistasipgh.org/index.php/regeofi/article/view/159>
- Benítez Reynoso, A. (2012). El Método Científico en la Ingeniería Estructural Forense. Recuperado de: <https://jornadasaie.org.ar/jornadas-aie-antiores/2012/contenidos/trabajos/71.pdf>
- Carper, K. L. (2001). Forensic Engineering (Vol. 2). CRC Press.
- Castillo, L. (2016, July 13). En Cuenca se detectaron fallas en las construcciones. El Comercio. Recuperado de: <https://www.elcomercio.com/actualidad/cuenca-estudio-fallas-construcciones-sismos.html>
- Chuquimarca, E. (2016). Malas construcciones y falta de cultura de prevención dejan cientos de muertos en Ecuador. Xinhuanet. Recuperado de: http://spanish.xinhuanet.com/2016-04/23/c_135304825.htm
- Dirección de Planeación y Desarrollo. (2019). Guía para la Elaboración de Manuales de Procedimientos. Departamento de Diseño Organizacional. Recuperado de: <http://www.salud.oaxaca.gob.mx/wp-content/uploads/2019/01/GUÍA-MANUAL-PROCEDIMIENTOS-2019.pdf>
- El Universo. (2018, September 14). El hormigón es el más usado para construir viviendas en Ecuador. Recuperado de: <https://www.eluniverso.com/noticias/2018/09/14/nota/6951929/hormigon-es-mas-usado-construir-viviendas-ecuador>
- Grases, J. (2011). Patología e Ingeniería Forense Casos y Lecciones. In Casos y Lecciones.
- IMCYC. (2017). Construcción y Tecnología en Concreto. Instituto Mexicano Del Cemento y Del Concreto, 14–15. Recuperado de: <http://www.imcyc.com/revistacyt/MARZO 2017/MARZO17.pdf>
- INEC. (2016). Encuesta de Edificaciones (Permisos de Construcción). Recuperado de: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas Economicas/Encuesta Edificaciones/2016/2016 EDIFICACIONES PRESENTACION.pdf>
- Noon, R. K. (1992). Introduction to Forensic Engineering. CRC Press.
- Noon, R. K. (2001). Forensic Engineering Investigation. CRC Press.
- Secretaría de Relaciones Exteriores. (2004). Guía Técnica Para La Elaboración De Manuales De Procedimientos Secretaria De Relaciones Exteriores. 41. Recuperado de: https://www.uv.mx/personal/fcastaneda/files/2010/10/guia_elab_manu_proc.pdf
- UNAM. (1994). Guía Técnica para la Elaboración de Manuales de Procedimientos.
- Vizuite, V. (2016, April 23). La mala construcción, un agravante del sismo. El Comercio. Recuperado de: <https://www.elcomercio.com/tendencias/malaconstruccion-agravante-sismo-ecuador-pedernales.html>

CAPÍTULO II: PATOLOGÍAS DE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Contenido

CAPÍTULO II: PATOLOGÍAS DE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN	45
Introducción	47
2.1. PATOLOGÍAS POR INTERVENCIÓN HUMANA	50
2.2. PATOLOGÍAS POR EFECTOS TÉRMICOS	81
2.3. PATOLOGÍAS POR EFECTOS DE HUMEDAD	94
2.4. PROCESOS DE DESINTEGRACIÓN	105
2.5. CORROSIÓN DEL ACERO DE REFUERZO	119
2.6. PATOLOGÍAS POR EFECTOS DE CARGAS	136
2.7. PATOLOGÍAS POR ACCIÓN SÍSMICA	152
2.8. OTRAS PATOLOGÍAS.....	170

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **46** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Introducción

Para una correcta evaluación de la condición de las estructuras de hormigón es necesario conocer y comprender las patologías y sus posibles causas. El Ingeniero debe tener conocimiento sobre los mecanismos de deterioro del hormigón para realizar una correcta intervención. Esta sección está dividida en ocho grupos de patologías como se indica en la Tabla 1. En el Gráfico 2 se indica como afectan las patologías en la vida útil de la estructura, sus defectos, deterioros y consecuencias.

Patología	Sección	Descripción	Origen
Patologías por intervención humana	2.1	Trata todos los problemas relacionados con mano de obra defectuosa y diseños erróneos o irregulares.	Antropogénico
Patologías por efectos térmicos	2.2	Hace referencia a las patologías causadas por variaciones bruscas de temperatura y los efectos que pueden causar en la estructura.	Físico
Patologías por efectos de humedad	2.3	Indica los principales problemas que puede causar la presencia de humedad en el hormigón.	Físico y químico
Procesos de desintegración	2.4	Menciona las principales causas de daños en el hormigón debido a la acción de agentes externos.	Físico y químico
Corrosión del acero de refuerzo	2.5	Describe los principales mecanismos que inducen a la corrosión del acero de refuerzo.	Químico
Patologías por efectos de cargas	2.6	Trata las consecuencias en las estructuras debido a la aplicación de cargas excesivas.	Mecánico
Patologías por acción sísmica	2.7	Habla sobre los efectos de las malas construcciones o causas naturales cuando se ven sometidas a acción sísmica.	Antropogénico y mecánico
Otras patologías	2.8	Tiene como propósito tratar patologías importantes relacionadas al comportamiento del suelo y de los materiales constituyentes del hormigón.	Antropogénico, químico

Tabla 1 Patologías y su descripción. Fuente: (Autores)

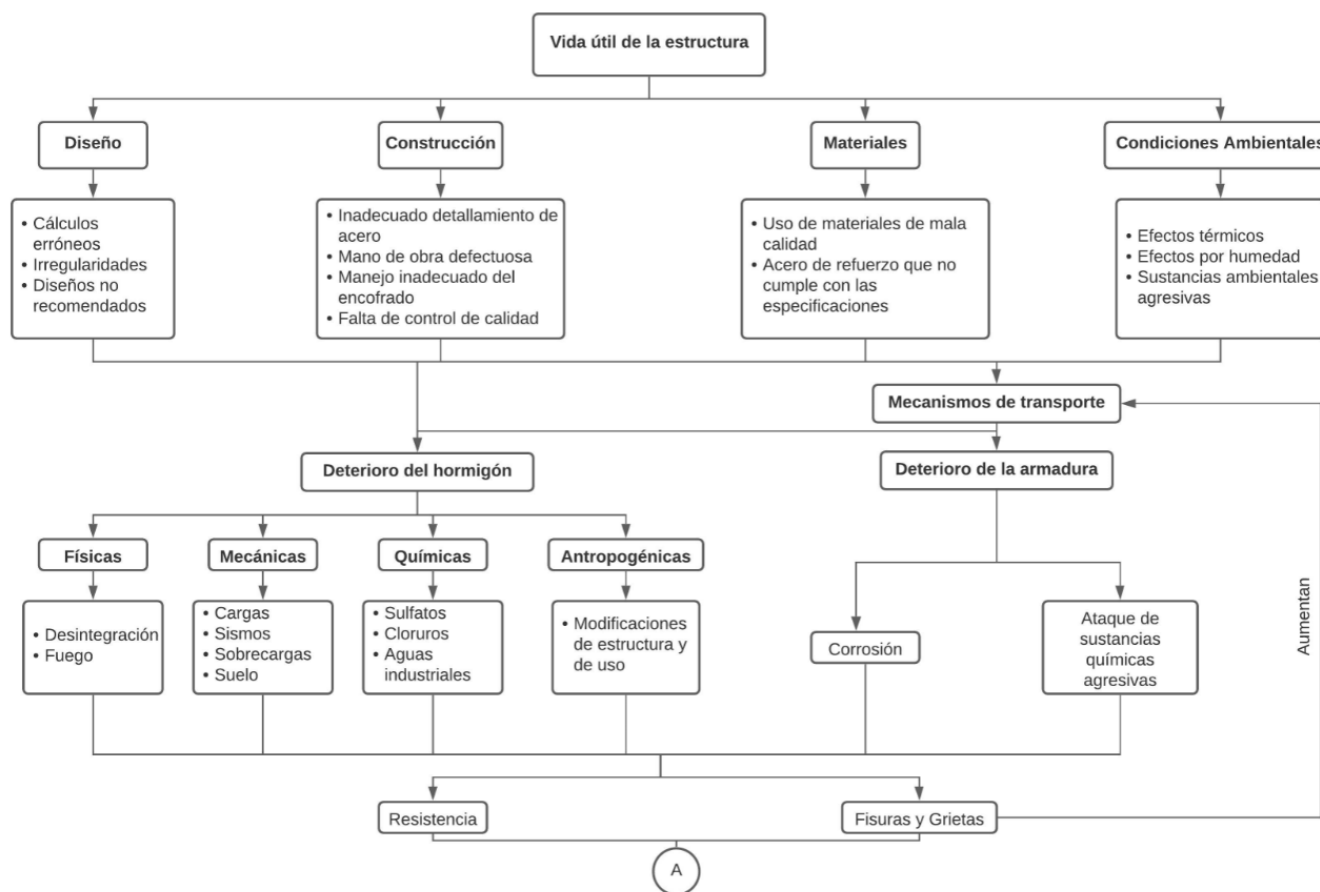
Vigencia desde:

Marzo-2021

Página 47 de 473



UNIVERSIDAD DE CUENCA



Vigencia desde:

Marzo-2021

Página 48 de 473



UNIVERSIDAD DE CUENCA

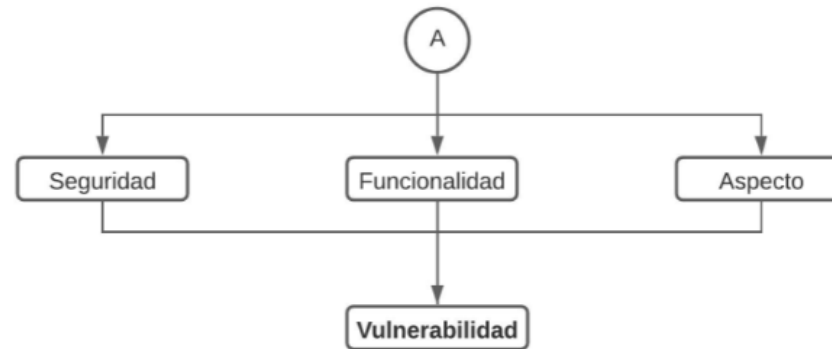


Gráfico 2 Mapa conceptual de Patologías. Fuente: (Autores)

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página 49 de 473



UNIVERSIDAD DE CUENCA

2.1. PATOLOGÍAS POR INTERVENCIÓN HUMANA

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página 50 de 473



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Contenido

2.1.	PATOLOGÍAS POR INTERVENCIÓN HUMANA	50
2.1.1.	Introducción	52
2.1.2.	Diseño, colocación y detallamiento inadecuado del acero de refuerzo	52
2.1.2.1.	Refuerzo congestionado	52
2.1.2.2.	Colocación inadecuada de las varillas de refuerzo	54
2.1.2.3.	Detallamiento inadecuado de estribos	57
2.1.3.	Flexión inadecuada de cable postensado	58
2.1.4.	Manejo inadecuado del encofrado	59
2.1.4.1.	Remoción prematura del encofrado	59
2.1.4.2.	Mala colocación de encofrados para columnas	60
2.1.5.	Juntas frías	61
2.1.6.	Segregación	62
2.1.7.	Hormigueros	64
2.1.8.	Elementos deplomados	66
2.1.9.	Agrietamiento por asentamiento plástico	68
2.1.10.	Agrietamiento por contracción plástica	70
2.1.11.	Diseños estructurales no recomendados	72
2.1.11.1.	Introducción	72
2.1.11.2.	Columna corta	73
2.1.11.3.	Ejes verticales discontinuos (Viga corta)	75
2.1.11.4.	Piso débil	77
2.1.12.	Bibliografía	79

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **51** de **473**



2.1.1. Introducción

En este apartado se trata las patologías causadas por la acción de una mano de obra defectuosa, errores de diseño, errores de detallamiento y errores del contratista. Desde el diseño hasta la estructura terminada todos los errores nombrados forman parte de la gran variedad de problemas que pueden presentarse durante el proceso de construcción. Según Emmons (2005) el proceso que se sigue desde el diseño hasta el final de la obra es el siguiente, cada punto representa una categoría de problemas.

- Preparación de los planos y las especificaciones.
- Selección y suministro de los materiales.
- Preparación de los detalles.
- Colocación y detalle del acero de refuerzo.
- Habilitado y colocación de las cimbras.
- Preparación y fabricación del concreto.
- Colocación del concreto.
- Retiro del encofrado y apuntalamiento.
- Curado.

2.1.2. Diseño, colocación y detallamiento inadecuado del acero de refuerzo

2.1.2.1. Refuerzo congestionado

2.1.2.1.1. Causas

Este problema se presenta principalmente en vigas y columnas, debido a que se requiere realizar traslapes de varillas. Estos empalmes pueden causar una aglomeración de aceros que evitan que el concreto llene los espacios alrededor de las varillas, afectando al correcto vertido y compactación, y producen vacíos alrededor del refuerzo. (Emmons, 2005)

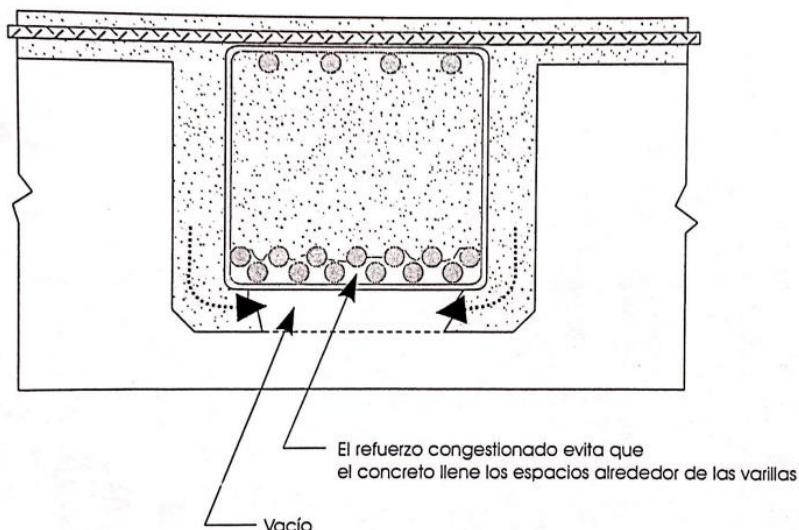


Gráfico 3 Refuerzo demasiado congestionado en la parte inferior del elemento. Fuente: (Emmons, 2005)



Estos problemas se dan por no cumplir las disposiciones de códigos como el ACI 318, principalmente los espaciamientos mínimos entre aceros de refuerzo.

2.1.2.1.2. Características

- Separaciones menores a las recomendadas por la norma.
- Vacíos alrededor del refuerzo.
- Acumulación excesiva de varillas de refuerzo en un elemento.

2.1.2.1.3. Consecuencias

- Reducción de la resistencia de la estructura.
- Disgregación del concreto.
- Posible colapso de la estructura.

2.1.2.1.4. Ejemplo



Gráfico 4 Ejemplo real de congestionamiento de acero de refuerzo en una viga. Fuente: (García, 2020)



2.1.2.2. Colocación inadecuada de las varillas de refuerzo

2.1.2.2.1. Causas

El acero se coloca por debajo de lo recomendado, si esto sucede puede ser que el concreto no sea capaz de soportar las cargas de tensión. Mayor riesgo se presentan en las losas en voladizo y las secciones de las vigas con momento negativo cerca de las columnas. (Emmons, 2005)



Gráfico 5 Acero mal colocado, puede causar grieta por tensión. Fuente: (Emmons, 2005)

El acero es ubicado sin tomar en cuenta el recubrimiento exigido por el ACI 318, como se indica en la Tabla 2. El recubrimiento ayuda a proteger las varillas de la corrosión y se debe evitar que el acero pierda el recubrimiento adecuado.

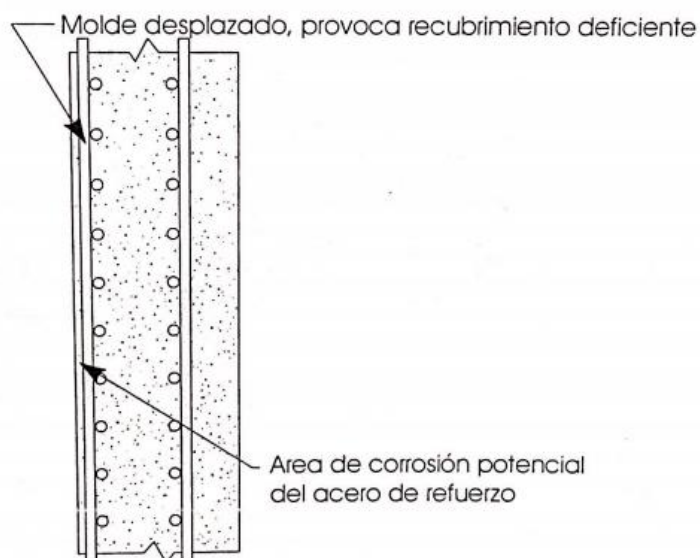


Gráfico 6 Acero colocado sin respetar el recubrimiento. Fuente: (Emmons, 2005)



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Condición	Recubrimiento exigido (mm)
Concreto en contacto con el suelo	75
Superficies expuestas a la intemperie	
Varillas > #6	50
Varillas < #5	40
Superficies no expuestas a la intemperie	
Vigas, losas y columnas	40
Losas, muros, viguetas	
Varillas < #11	20
Varillas #14, #18	40

Tabla 2 Recubrimiento exigido por el ACI 318. Fuente: (ACI 318, 2014)

2.1.2.2.2. Características

Cuando el acero a tensión se localiza debajo de lo recomendado se producen grietas.

La falta de recubrimiento puede producir (e-struc, 2019):

- Manchas de óxido en el hormigón que dan aspecto degradado a la estructura y ensucian los acabados.
- Separación de la varilla de refuerzo y la masa de hormigón.

2.1.2.2.3. Consecuencias

- Las grietas provocan disminución de la capacidad estructural.
- Las grietas o un recubrimiento defectuoso abren paso a la corrosión del acero.
- El hormigón siempre presenta pérdida de volumen; si a esto se suma un mal recubrimiento se pone en peligro el comportamiento y la vida útil de la obra. (e-struc, 2019)

2.1.2.2.4. Ejemplo



Gráfico 7 Ejemplo real de fisura por tensión. Fuente: (Guzmán, 2016)



UNIVERSIDAD DE CUENCA



Gráfico 8 Ejemplo real de recubrimiento defectuoso. Fuente: (e-struc, 2019)



Gráfico 9 Ejemplo real de corrosión en el acero de refuerzo. Fuente: (Ipiales, 2015)

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **56** de **473**



2.1.2.3. Detallamiento inadecuado de estribos

2.1.2.3.1. Causas

Un diseño en el cual no se tiene conocimiento de las exigencias impuestas por el ACI 318; los diámetros de las varillas y las separaciones de las mismas no cumplen con los requisitos establecidos. El Gráfico 10 muestra, como ejemplo, los requisitos establecidos por la norma para un correcto detallamiento. La norma indica los requerimientos para cada elemento estructural. Un correcto armado de los estribos restringen el crecimiento de grietas inclinadas a 45° producidos por esfuerzos cortantes.

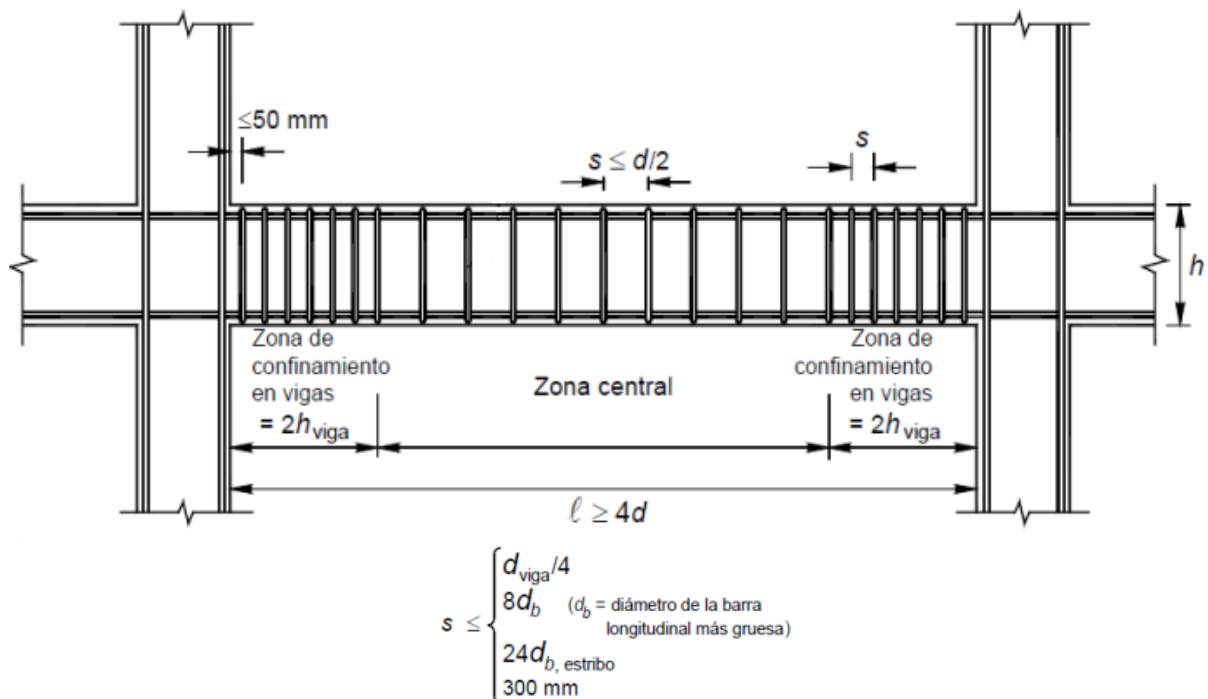


Gráfico 10 Detallamiento de estribos en vigas. Fuente: (NTCC, 2004)

Se debe tener en cuenta que no se permiten empalmes por traslapo dentro de la zona de confinamiento, ni donde se espere acción inelástica. (García, 2020)

2.1.2.3.2. Características

Es difícil determinar fallas en el detallamiento del acero de refuerzo en una estructura existente; para determinarlo se debe realizar un control riguroso en el diseño y en la construcción. Sino se podría hacer uso de ensayos como el detector de armaduras o GPR que se indican la sección 3.2 y 3.3 respectivamente.

Las fallas a cortante, producidas por un mal detallamiento, la mayoría de veces lamentablemente se pueden evidenciar en un colapso de la estructura.

2.1.2.3.3. Consecuencias

- Grietas a 45° producidos por esfuerzos cortantes.
- Confinamiento ineficiente del hormigón.
- Reducción en la resistencia a corte.



2.1.2.3.4. Ejemplo



Gráfico 11 Ejemplo real de detallamiento inadecuado en los estribos. Fuente: (Castañeda et al., 2017)

2.1.3. Flexión inadecuada de cable postensado

2.1.3.1. Causas

Colocación inadecuada del cable postensado, esto produce esfuerzos de tensión como se indica en el Gráfico 12.

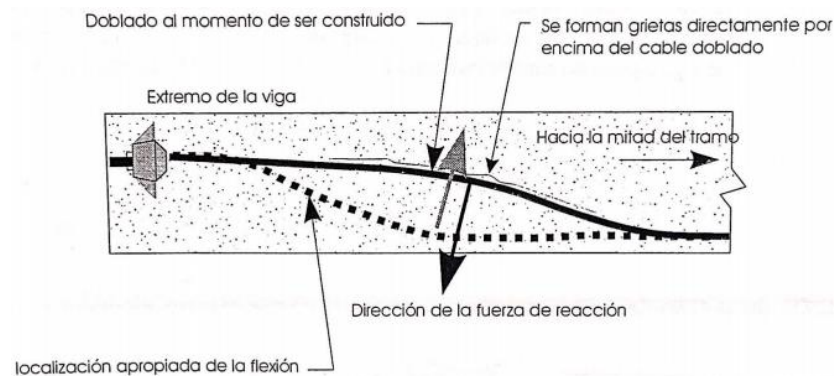


Gráfico 12 Colocación inadecuada de cable postensado. Fuente: (Emmons, 2005)

La colocación apropiada de la flexión se muestra en el Gráfico 13.

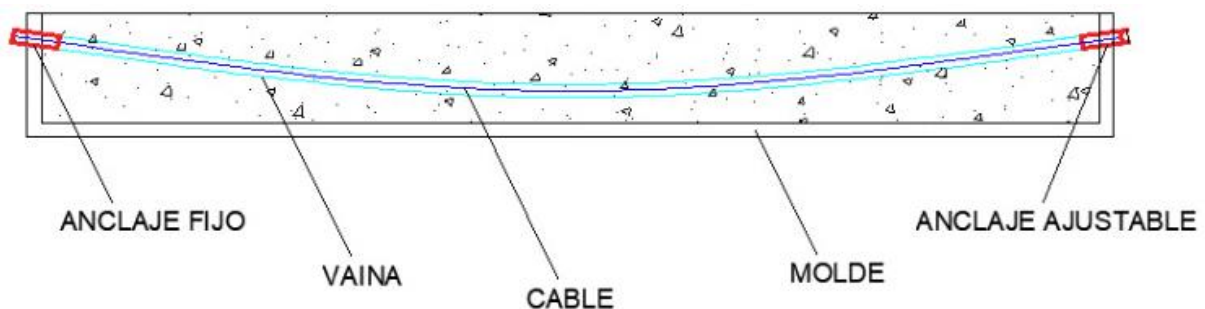


Gráfico 13 Colocación adecuada del cable postensado. Fuente: (Agreda & Guevara, 2019)



2.1.3.2. Características

- Grietas diagonales, similares a las causadas por los esfuerzos a corte, producidas por la mala colocación del cable postensado.
- Las grietas se forman directamente encima del cable mal colocado.

2.1.3.3. Consecuencias

- Agrietamiento del concreto.
- Disminución en la resistencia a tensión del elemento.

2.1.3.4. Ejemplo



Gráfico 14 Ejemplo real de agrietamiento por mala colocación de cable postensado. Fuente: (Mac, 2019)

2.1.4. Manejo inadecuado del encofrado

2.1.4.1. Remoción prematura del encofrado

2.1.4.1.1. Causas

El encofrado debe permanecer colocado en obra desde antes del vaciado hasta que el concreto alcance la resistencia apropiada; cuando es retirado antes produce daños significativos en la estructura. (Emmons, 2005)

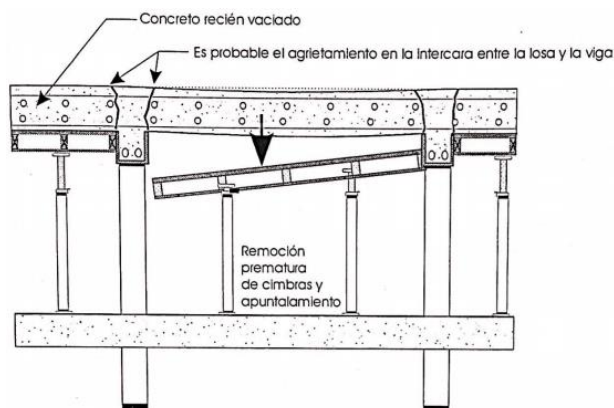


Gráfico 15 Remoción prematura del encofrado. Fuente: (Emmons, 2005)



2.1.4.1.2. Características

- Grietas causadas por esfuerzos de compresión y de tensión.
- Pueden apreciarse deflexiones.

2.1.4.1.3. Consecuencias

- Agrietamiento del concreto.
- Deflexión del elemento estructural.
- Posible colapso de la estructura.

2.1.4.1.4. Ejemplo



Gráfico 16 Ejemplo real de colapso en estructura por remoción temprana de encofrado y apuntalamiento deficiente. Fuente: (Civil Engineering Forum, 2017)

2.1.4.2. Mala colocación de encofrados para columnas

2.1.4.2.1. Causas

Las columnas son colocadas antes que el encofrado para losas o vigas; cuando la columna penetra el concreto de la losa o de la viga se reduce el área del cortante y pueden ocurrir esfuerzos críticos. (Emmons, 2005)

2.1.4.2.2. Características

El encofrado de las columnas penetra al concreto de la losa o viga, esta falla se puede apreciar en la construcción.



2.1.4.2.3. Consecuencias

- La superficie del encofrado no transfiere de forma adecuada el esfuerzo cortante.
- Puede generar agrietamientos, debido a esfuerzos cortantes críticos.

2.1.4.2.4. Ejemplo

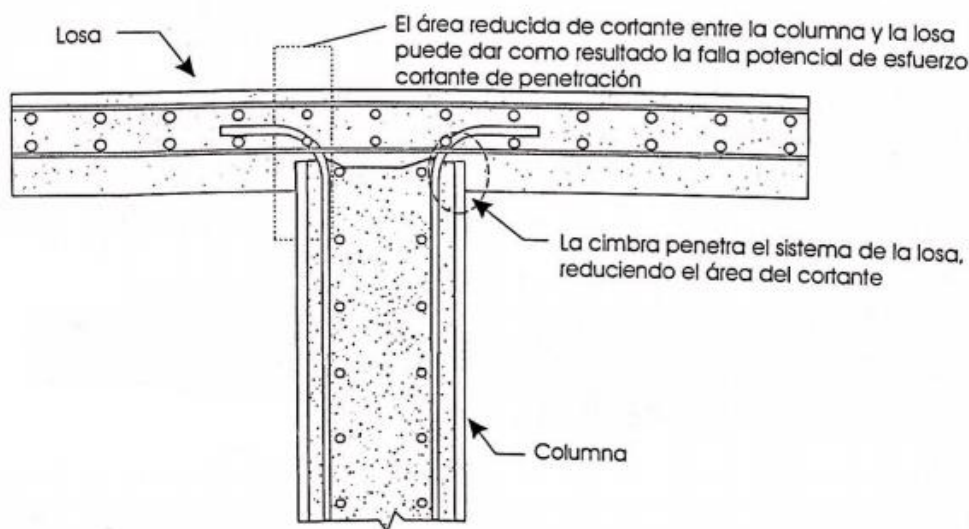


Gráfico 17 Ejemplo de colocación inadecuada de encofrados para columnas. Fuente: (Emmons, 2005)

2.1.5. Juntas frías

2.1.5.1. Causas

Las juntas frías en el concreto son planos débiles que se forman debido a la interrupción de suministro de mezcla durante el vaciado. (A. Torres et al., 2016)

Para conseguir la adherencia requerida en el concreto se debe limpiar la superficie, eliminando polvo y grasa o residuos de lechada. (Emmons, 2005)

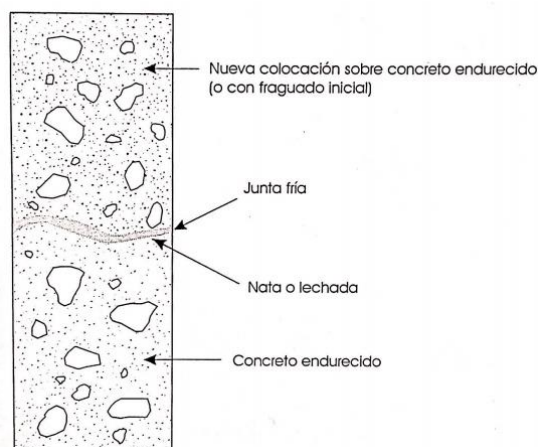


Gráfico 18 Juntas frías. Fuente: (Emmons, 2005)



2.1.5.2. Características

- Interfaz donde se aprecian diferentes etapas de vertido del concreto.

2.1.5.3. Consecuencias

Las principales consecuencias son (Emmons, 2005; A. Torres et al., 2016):

- Produce una conexión débil entre los vertidos.
- Fugas en el concreto.
- Incertidumbre del comportamiento mecánico.
- Afecta el desempeño estructural.
- Compromete la integridad estructural.
- Disminución de la resistencia máxima.

2.1.5.4. Ejemplo



Gráfico 19 Ejemplo real de juntas frías. Fuente: (Harrison, 2017)

2.1.6. Segregación

2.1.6.1. Causas

La segregación se da cuando los agregados gruesos, agregados finos y el concreto se separan. Esto puede ocurrir en la mezcla, transporte, vaciado o vibrado del concreto. Este problema se da debido a mezclas con alto revenimiento, métodos incorrectos de manejo de hormigón, vibración excesiva. (360 en Concreto, 2019; Emmons, 2005)



Gráfico 20 Segregación. Fuente: (Emmons, 2005)

2.1.6.2. Características

- La superficie del elemento muestra oquedades debido a la acumulación de áridos en el fondo.

2.1.6.3. Consecuencias

Las consecuencias de esta falla son (360 en Concreto, 2019; Emmons, 2005):

- Superficies superiores con excesiva pasta y finos.
- Excesiva relación agua cemento.
- Reducción en la resistencia.
- Afecta la durabilidad.
- Pobre acabado de superficie.



2.1.6.4. Ejemplo



Gráfico 21 Ejemplo vida real de segregación. Fuente: (Geotechtips, 2016)

2.1.7. Hormigueros

2.1.7.1. Causas

Ocurre cuando en el hormigón quedan atrapadas burbujas de aire, entre la superficie del concreto y el encofrado, producto de una deficiente compactación. (Ceballos, 2019)

2.1.7.2. Características

- Pequeños orificios en la superficie del concreto.

2.1.7.3. Consecuencias

Las consecuencias de esta falla son (Ceballos, 2019; Toxement, 2017b):

- Comprometen la estabilidad estructural del elemento.
- Disminución de la durabilidad del hormigón.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

- Afecta la apariencia del hormigón.
- Aumenta la permeabilidad del concreto.
- Si el ancho del orificio excede a 3.81 cm y la profundidad a 1.27 cm se considera un error serio que podría afectar considerablemente al hormigón.

2.1.7.4. Ejemplo



Gráfico 22 Ejemplo real de hormiguero. Fuente: (Canstockphoto; Toxement, 2017)



2.1.8. Elementos deplomados

2.1.8.1. Causas

Cuando los elementos se colocan fuera de la tolerancia causan problemas en la estructura, esto normalmente se debe a mala práctica en obra; por ejemplo, mala colocación de encofrados. Los valores de tolerancia son presentados en la Tabla 3.

Tolerancias para las superficies moldeadas	
Variación de la posición a plomo	(mm)
Cualquier longitud de 3m	6
Longitud completa máxima	25
Variaciones respecto al nivel	(mm)
Claros de losa de 3m de largo	6
Longitud máxima total	19
Variaciones en sección transversal	(mm)
menos	6
más	13

Tabla 3 Tolerancias en los elementos. Fuente: (Emmons, 2005)

El Gráfico 23 indica un ejemplo de un elemento, columna, deplomado.

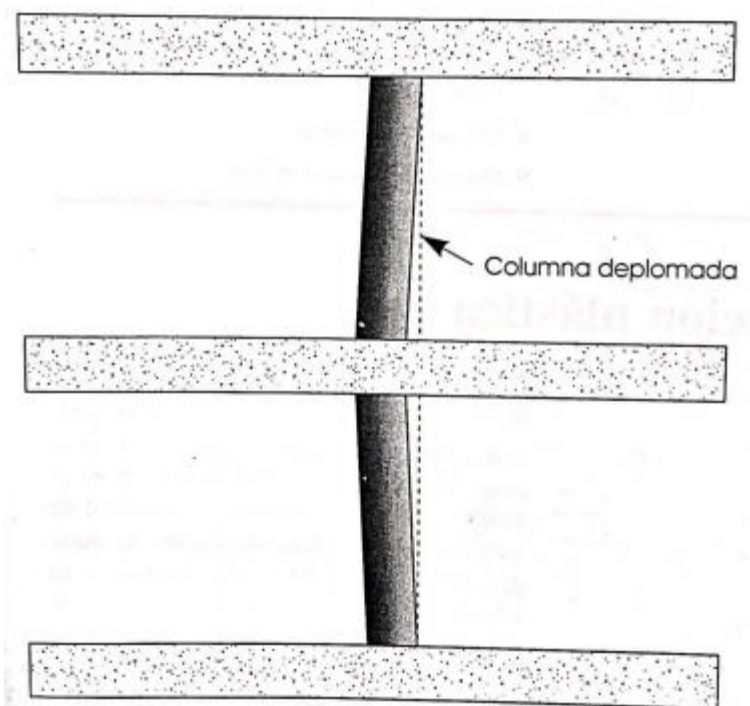


Gráfico 23 Columna deplomada. Fuente: (Emmons, 2005)



UNIVERSIDAD DE CUENCA

2.1.8.2. Características

- Inclinación significativa del elemento con respecto a su ubicación ideal.

2.1.8.3. Consecuencias

- Problemas estéticos.
- Problemas estructurales.
- Recubrimiento y sección transversal inapropiados.
- Cargas excéntricas indeseadas.

2.1.8.4. Ejemplo

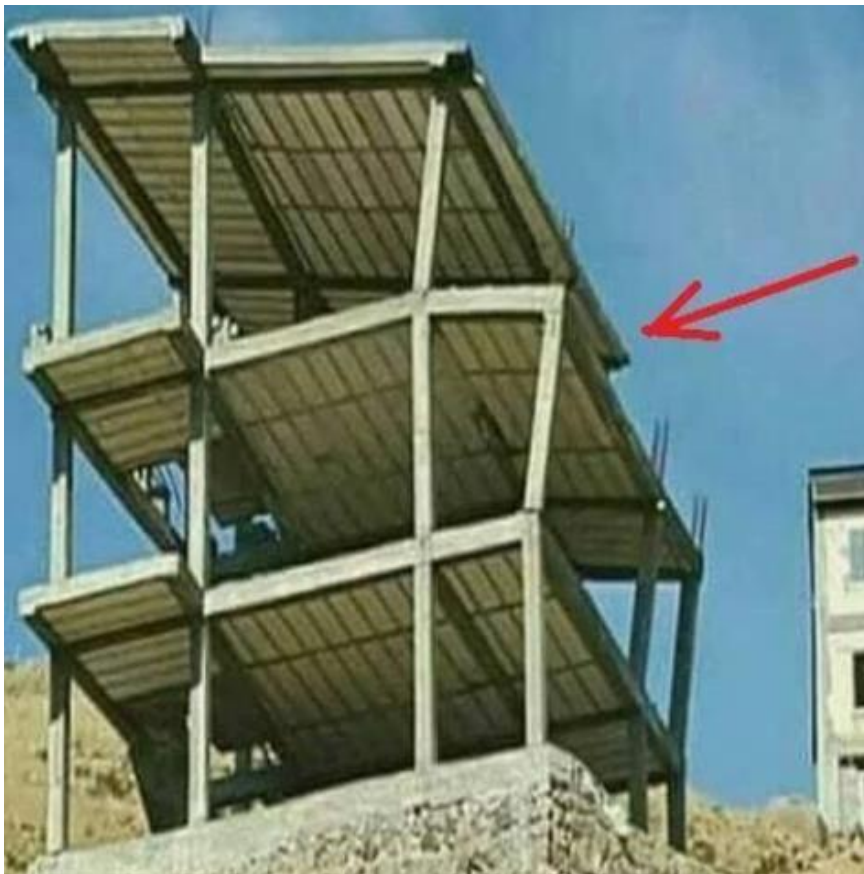


Gráfico 24 Ejemplo real de elementos deplomados. Fuente: (Fazily, 2020)



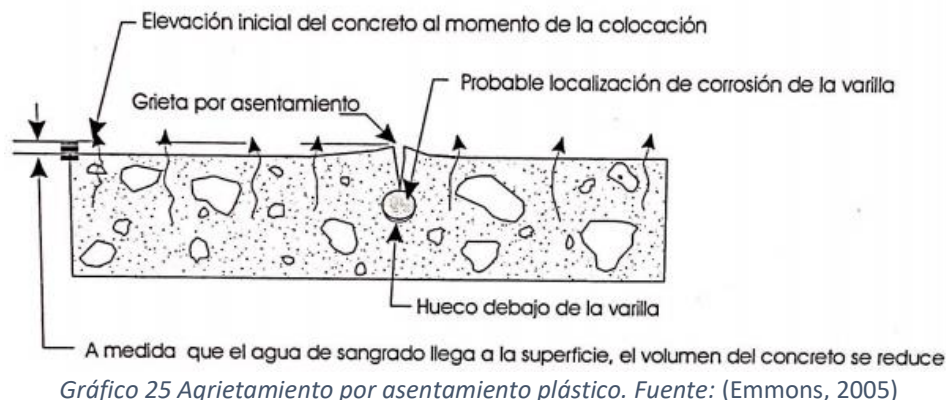
2.1.9. Agrietamiento por asentamiento plástico

2.1.9.1. Causas

El agrietamiento por asentamiento plástico se da después de que el concreto en estado fresco es colocado en el molde; en esta etapa los sólidos tienden a asentarse desplazando elementos menos densos como el agua y el aire atrapado. El agua sale a la superficie por efectos de exudación y el asentamiento continúa hasta el endurecimiento del concreto. Cuando existen obstáculos como piedras de gran tamaño, acero de refuerzo o elementos embebidos en el hormigón, obstruyen el acomodamiento de la mezcla provocando asentamientos diferenciales plásticos y formación de grietas. Las grietas serán mayores si el recubrimiento es menor, si el diámetro de la varilla es mayor y si el revenimiento es mayor. (Toirac Corral, 2004)

Los factores que causan la fisuración por asentamiento plástico son (Calavera, 2005):

- Exceso de exudación.
- Hormigonado a altas temperaturas y viento.
- Alta relación agua cemento.
- Exceso de finos.
- Cemento inadecuado.
- Mal uso de retardantes.



La Tabla 4 muestra la probabilidad de agrietamiento por asentamiento; en función del recubrimiento, el revenimiento y el número de varilla.

Probabilidad de agrietamiento por asentamiento									
Recubrimiento (cm)	Revenimiento de 5 cm			Revenimiento de 7.5 cm			Revenimiento de 10 cm		
	#4	#5	#6	#4	#5	#6	#4	#5	#6
1,9	80,4%	87,8%	92,5%	91,9%	98,7%	98,7%	100%	100%	100%
2,5	60%	71%	78,1%	73%	73%	83,4%	89,9%	85,2%	100%
3,8	18,6%	34,5%	45,6%	31,1%	31,1%	47,7%	58,9%	44,2%	72%
5	0%	1,8%	14,1%	4,9%	4,9%	12,7%	26,3%	5,1%	39%

Tabla 4 Probabilidad de agrietamiento por asentamiento. Fuente: (Emmons, 2005)



2.1.9.2. Características

Las principales características son (Calavera, 2005; Emmons, 2005):

- Fisuras apreciables de 0.15 a 0.3 mm y de poca profundidad.
- Se producen en las primeras tres horas después del vertido.
- Posible hueco debajo de la varilla.
- La fisura se da en dirección de la armadura.

2.1.9.3. Consecuencias

Aunque estas grietas no presentan problemas estructurales, provocan penetración de agua en el concreto. Permitiendo el ingreso de sales y otros productos químicos peligrosos, dando como resultado efectos estéticos negativos y reducción de la durabilidad y vida útil de la estructura. (Toirac Corral, 2004)

2.1.9.4. Ejemplo



Gráfico 26 Ejemplo real de agrietamiento por asentamiento plástico. Fuente: (Cárcamo, 2003)



2.1.10. Agrietamiento por contracción plástica

2.1.10.1. Causas

Las grietas por contracción plástica se dan en las primeras etapas del fraguado inicial; ocurren cuando el agua de la superficie se evapora antes de que el agua de exudación aparezca en la superficie en el proceso de fraguado. Da como resultado una contracción rápida por secado debido a esfuerzos de tensión grandes en la capa superficial. (Cárcamo, 2003)

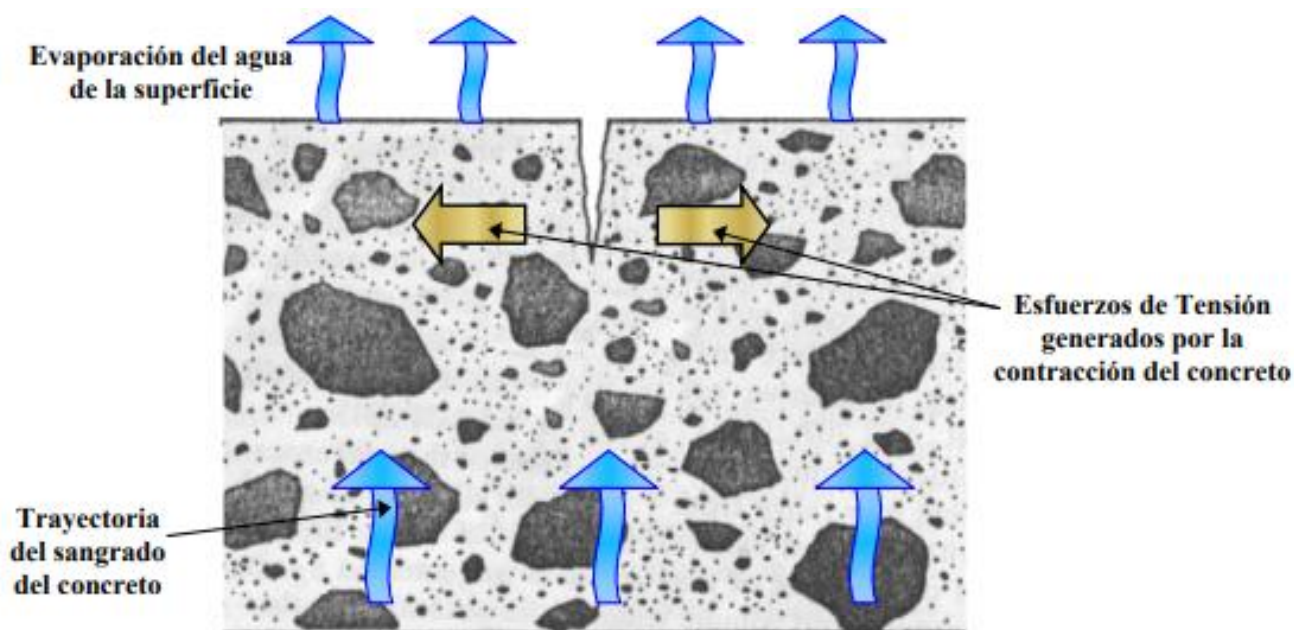


Gráfico 27 Agrietamiento por contracción plástica. Fuente: (Cárcamo, 2003)

Es difícil saber cuándo se presentarán grietas por contracción, sin embargo, se dice que existe agrietamiento cuando si la tasa de evaporación es mayor a $0.5 \text{ Kg/m}^2/\text{h}$. Si la tasa sobrepasa a $1 \text{ Kg/m}^2/\text{h}$ es obligatorio tomar medidas preventivas. (Cárcamo, 2003)

Otros factores que causan la fisuración por contracción plástica son (Calavera, 2005):

- Velocidad lenta de exudación.
- Exceso de relación agua cemento.
- Empleo incorrecto de retardadores.
- Hormigonado con altas temperaturas y viento.
- Curado incorrecto.

2.1.10.2. Características

- Fisuras de anchos entre 0.2 a 0.4 mm y poca profundidad.
- Aparecen entre las primeras seis horas luego del vertido.
- Las grietas pueden ser paralelas entre sí.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

2.1.10.3. Consecuencias

El agrietamiento por contracción plástica normalmente no produce fracturas en el agregado; sin embargo, estas grietas pueden conducir a puntos de movimientos de contracción térmica, intensificando el agrietamiento. (Emmons, 2005)

2.1.10.4. Ejemplo



Gráfico 28 Ejemplo real de agrietamiento por contracción plástica. Fuente: (Cárcamo, 2003; Sika, 2008)



2.1.11. Diseños estructurales no recomendados

2.1.11.1. Introducción

Los diseños deben procurar una estructura simple y regular para tener un correcto desempeño sísmico. La normativa NEC-SE-DS (2014) da configuraciones recomendadas y no recomendadas.

CONFIGURACIÓN EN ELEVACIÓN $\phi_{EI}=1$		CONFIGURACIÓN EN PLANTA $\phi_{PI}=1$	
La altura de entrepiso y la configuración vertical de sistemas aporticados, es constante en todos los niveles. $\phi_{EI}=1$		La configuración en planta ideal en un sistema estructural es cuando el Centro de Rigidez es semejante al Centro de Masa. $\phi_{PI}=1$	
La dimensión del muro permanece constante a lo largo de su altura o varía de forma proporcional. $\phi_{EI}=1$			

Gráfico 29 Configuraciones estructurales recomendadas. Fuente: (NEC-SE-DS, 2014)

Irregularidades en elevación		
a)	b)	c)
Viga corta	Piso débil	Columna corta

Gráfico 30 Configuraciones estructurales no recomendadas, irregularidades en elevación. Fuente: (NEC-SE-DS, 2014)



Irregularidades en Planta

Desplazamiento de los planos de acción de elementos vertical

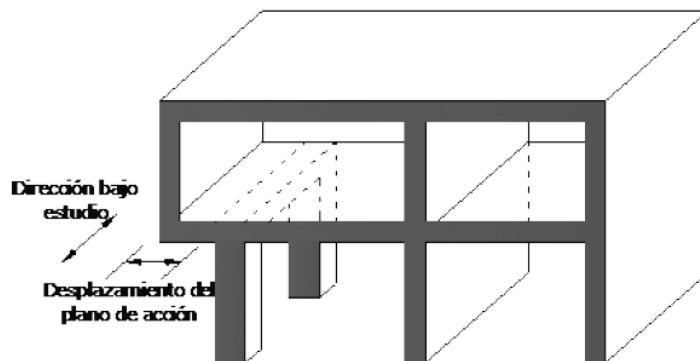


Gráfico 31 Configuraciones estructurales no recomendadas, irregularidades en planta. Fuente: (NEC-SE-DS, 2014)

2.1.11.2. Columna corta

Es uno de los motivos más comunes de daños catastróficos en edificaciones sometidos a acciones sísmicas. Es un problema oculto, que la mayoría de veces se ignora, debido a que no se ve reflejada en el análisis y diseño de la estructura. Para evitar este problema se deben considerar la influencia de los componentes no estructurales como los muros de mampostería en todas las etapas de la obra, especialmente en el diseño. (Beauperthuy & Urich, 2011)

2.1.11.2.1. Causas

Está presente cuando se restringe parcialmente el movimiento lateral de las columnas, generalmente con la presencia de muros o paredes que no cubren toda la altura de la columna dejando un espacio libre para la ventana. El muro provoca una rigidez elevada por lo que la demanda de deformaciones y tensiones se concentrará en el espacio libre; si la columna no está correctamente reforzada o confinada no tendrá capacidad de disipar la energía provocando una falla frágil por cortante. (Beauperthuy & Urich, 2011; Frías & Sevilla, 2015)

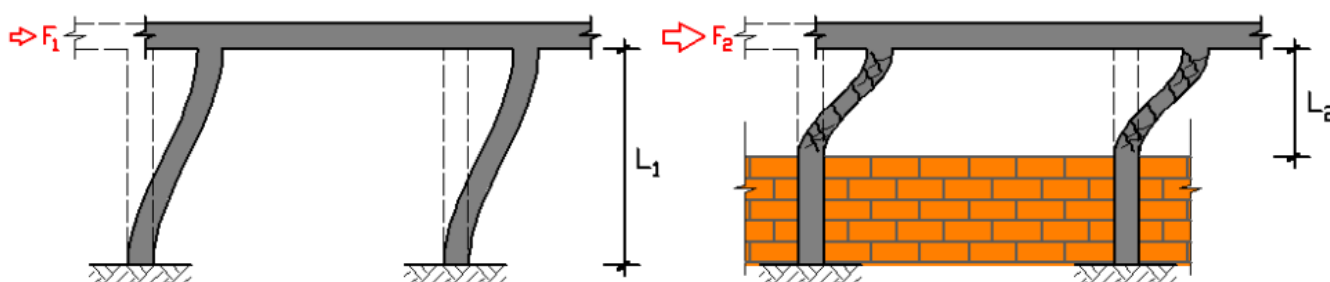


Gráfico 32 Efecto de columna corta. Fuente: (Beauperthuy & Urich, 2011)



UNIVERSIDAD DE CUENCA

2.1.11.2.2. Características

- Presencia de muros de mampostería que no alcanzan la altura total de la columna del piso (Gráfico 33).
- Diseño o construcción de vigas no continuas (Gráfico 30.c).

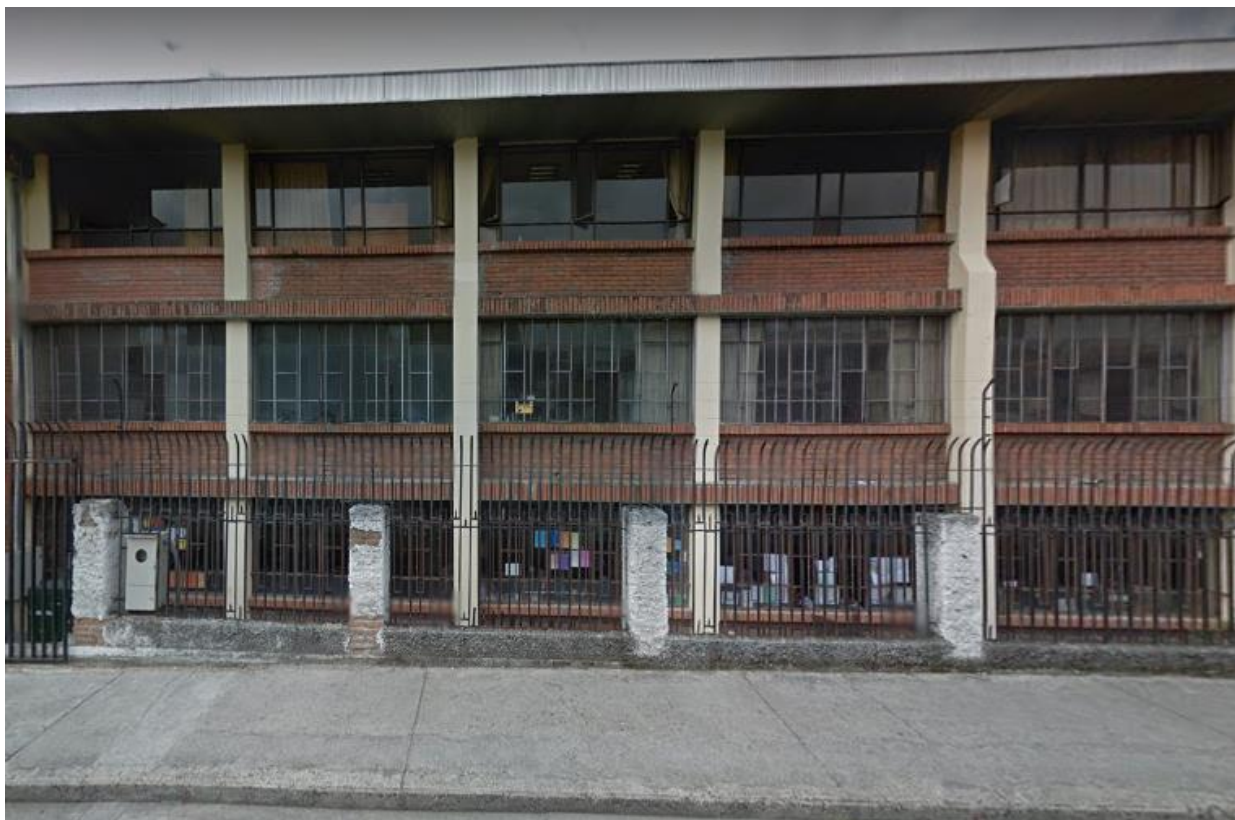


Gráfico 33 Ejemplo de columna corta en construcción de escuela en la ciudad de Cuenca. Fuente: Autores

2.1.11.2.3. Consecuencias

- Falla frágil por cortante en tramo libre de columna.
- Posible colapso de la estructura ante un sismo.
- Agrietamiento a 45°.



2.1.11.2.4. Ejemplo



Gráfico 34 Ejemplos reales de daños en estructuras por columna corta. Fuente: (Beauperthuy & Urich, 2011)

2.1.11.3. Ejes verticales discontinuos (Viga corta)

2.1.11.3.1. Causas

Una edificación presenta irregularidad vertical cuando existen desplazamientos en el alineamiento de elementos estructurales verticales y estos desplazamientos son mayores que la dimensión horizontal del elemento, como se indica en el Gráfico 30.a. (NEC-SE-DS, 2014)

El Gráfico 35 indica que las columnas deben ser continuas hasta la cubierta para ser considerados elementos estructurales resistentes a fuerzas horizontales.

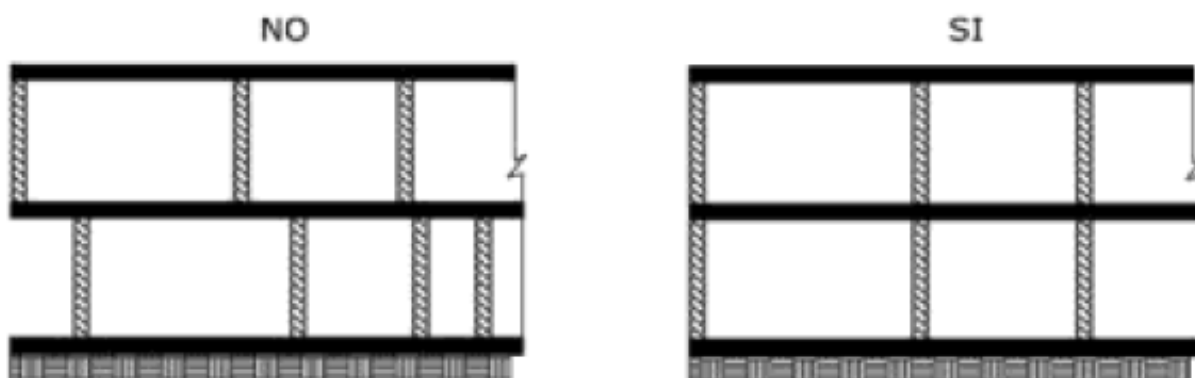


Gráfico 35 Discontinuidad y continuidad de elementos estructurales. Fuente: (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda & Secretaría de Gestión de Riesgos, 2016)



2.1.11.3.2. Características

- En viviendas, los pórticos y paredes no son continuos hasta la cubierta.
- Las columnas de pisos diferentes al primero no tienen continuidad hasta la cimentación.

2.1.11.3.3. Consecuencias

- Falla frágil por cortante en tramo libre de la viga.
- Agrietamiento por corte.
- Fallo por punzonamiento de la losa, especialmente si la estructura no posee vigas.
- Posible colapso de la estructura ante un sismo.

2.1.11.3.4. Ejemplo



Gráfico 36 Ejemplo real de viga corta. Fuente: (Casagallo, 2020)



Gráfico 37 Ejemplo real de viga corta. Fuente: (Aguía, 2018)



2.1.11.4. Piso débil

Son estructuras que, desafortunadamente, se encuentran comúnmente en la costa ecuatoriana. Son elementos vulnerables por su baja resistencia y rigidez. (Casagallo, 2020)

2.1.11.4.1. Causas

Puede darse en pisos intermedios o, comúnmente, en plantas bajas. La principal causa es la ausencia de muros, estructurales o de mampostería, en un determinado piso. Los pisos que contienen muros son más rígidos y trabajan como un solo elemento; esto afecta al piso que carece de muros debido a que la rigidez es más pequeña y los esfuerzos se acumulan en el mismo. (Casagallo, 2020)

En el Gráfico 38.a se indica la deformación de un edificio con muros en todos los pisos y el Gráfico 38.b muestra la deformación cuando existe piso blando.

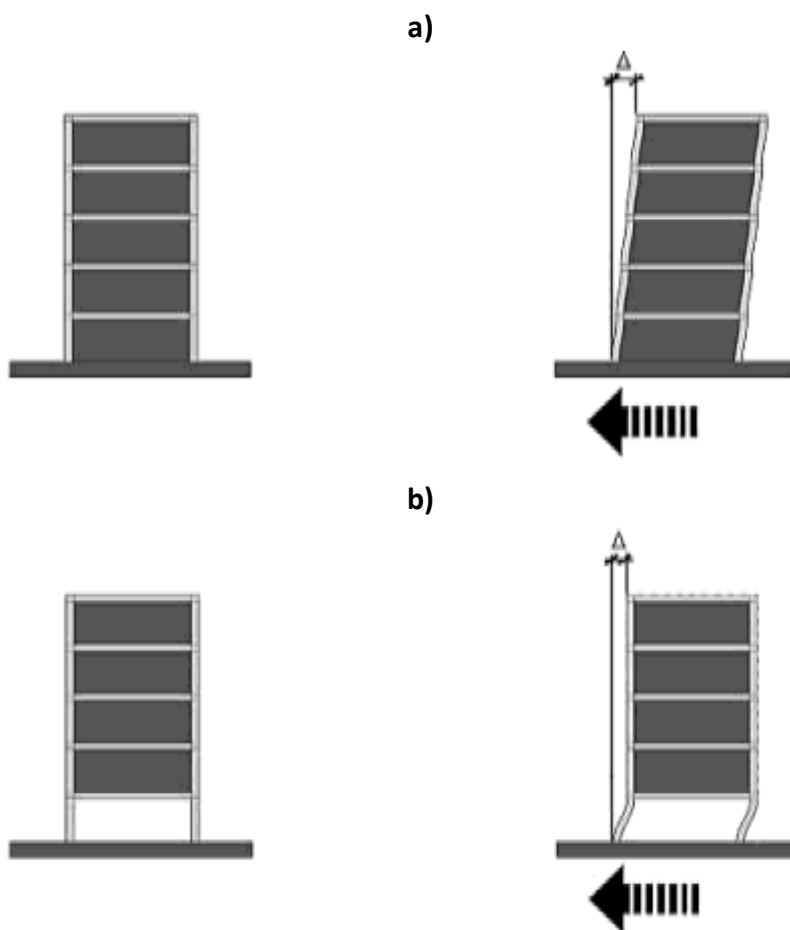


Gráfico 38 Deformación en un edificio con y sin piso blando. Fuente: (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda & Secretaría de Gestión de Riesgos, 2016)



UNIVERSIDAD DE CUENCA

2.1.11.4.2. Características

- Ausencia de muros en la planta baja, a diferencia del resto de pisos.

2.1.11.4.3. Consecuencias

- Altas deformaciones.
- Variaciones en las rigideces.
- Posible colapso de la estructura ante un sismo.

2.1.11.4.4. Ejemplo



Gráfico 39 Ejemplos reales de piso blando. Fuente: (Casagallo, 2020)



2.1.12. Bibliografía

- 360 en Concreto. (2019). Recomendaciones para la colocación de concreto en obra. Recuperado de: https://www.360enconcreto.com/blog/que-hacer-cuando/colocacion-del-concreto-en-obra?fbclid=IwAR28OQZNEHP502fm_I9Z0vya4Rbr3zqQCUHd_akN07-rB4T4enp2WaYBShU#:~:text=
- ACI 318. (2014). Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary. American Concrete Institute.
- Agreda, L., & Guevara, R. (2019). Propuesta de una metodología constructiva de losas postensadas con adherencia en edificaciones, departamento de San Martín, 2019. Recuperado de: <http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/899>
- Aguía, S. (2018). Ejemplo de lo que no se debe hacer en una estructura. Recuperado de: <https://twitter.com/seaguia/status/1067753837841342464?lang=es>
- Beupersuy, J. L., & Ulrich, A. J. (2011). El Efecto de Columna Corta. Estudios de Casos. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/339697161_El_Efecto_de_Columna_Corta_Estudio_de_Casos
- Calavera, J. (2005). Patología de Estructuras de Hormigón Armado y Pretensado. Atlas de Fisuras.
- Canstockphoto. (n.d.). Muro De Textura Viejo Y Hormigón. Recuperado de: <https://www.canstockphoto.es/grungy-concreto-viejo-textura-pared-22781942.html>
- Cárcamo, M. (2003). Agrietamiento del Concreto en Estado Plástico. Unidad de Investigación y Desarrollo Vial. Recuperado de: https://www.u-cursos.cl/usuario/cb427d38f29a715e97a6c5a512d780f6/mi_blog/r/cam062.pdf
- Casagallo, A. (2020). Evaluación de Estructuras. Taller de Evaluación Estructural y Patologías.
- Castañeda, A. E., Mielles Bravo, Y., Castañeda, A. E., & Mielles Bravo, Y. (2017). Una mirada al comportamiento estructural de columnas, vigas, entrepisos y edificaciones durante el sismo de Ecuador 2016. Revista Ingeniería de Construcción, 32(3), 157–172. Recuperado de: <https://doi.org/10.4067/S0718-50732017000300157>
- Ceballos, A. (2019). 5 Errores comunes en construcciones en concreto reforzado. Recuperado de: <https://andresceballos2019.wixsite.com/inicio/post/5-errores-comunes-en-construcciones-en-concreto-reforzado>
- Civil Engineering Forum. (2017). Causes of Formwork Failures. Recuperado de: <https://www.civilengineeringforum.me/causes-of-formwork-failures/>
- e-struc. (2019). La importancia del recubrimiento de las armaduras en el hormigón. Recuperado de: <https://e-struc.com/2014/12/29/la-importancia-del-recubrimiento-de-las-armaduras-en-el-hormigon/>
- Emmons, P. (2005). Manual ilustrado de Reparación y Mantenimiento del concreto. In Análisis, estrategias y técnicas de reparación. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
- Frías, A., & Sevilla, E. (2015). Relación de la columna corta con la configuración estructural en planta y en elevación de un edificio de uso comercial de 4 pisos, ubicado en el sector Medio Ejido, cantón Cuenca, provincia de Azuay. Trabajo de Graduación Estructurado de Manera Independiente Previo a La Obtención Del Título de Ingeniero Civil. Recuperado de: <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/11731>
- García, E. (2020). Proyecto estructural. In Apuntes de clase.
- Geotechtips. (2016). Las típicas “cangrejeras” u oquedades en el concreto. ¿Por qué se producen? Recuperado de: <https://twitter.com/GeotechTips/status/732892225194102784/photo/1>



UNIVERSIDAD DE CUENCA

- Guzmán, A. (2016). Comportamiento Y Diseño de Estructuras de Concreto Reforzado Solicitados a Corte , Según Norma ACI 318-19. Recuperado de: <https://gmoralexv2.weebly.com/iii-esfuerzo-cortante-y-tensioacuten-diagonal.html>
- Harrison, T. (2017). Cold joints in concrete are your worst nightmare. But how do they occur and how do we prevent them? Concretebroker. Recuperado de: <https://www.concretebroker.com/Blog/View/163>
- Ipiales, M. (2015). Guía de Evaluación de Estructuras de Hormigón Armado y procedimientos de ensayos no destructivos, previo a su intervención y reparación. In *Disertación previa a la obtención del título de Ingeniero Civil*. Universidad Internacional del Ecuador. Recuperado de: <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/2205/1/T-UIDE-1254.pdf>
- Mac, J. (2019). *Tensar el cable por ambos extremos o no en postensado*. Solo Arquitectura. Recuperado de: <https://www.soloarquitectura.com/foros/threads/tensar-el-cable-por-ambos-extremos-o-no-en-postensado.110432/page-2>
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, & Secretaría de Gestión de Riesgos. (2016). Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras, de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015. *Guía de Diseño 5*. Recuperado de: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/10/GUIA-5-EVALUACION-Y-REHABILITACION1.pdf>
- NEC-SE-DS. (2014). *Peligro Sísmico Diseño Sismo Resistente*.
- NTCC. (2004). *Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto*. Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal.
- Sika. (2008). El concreto de hoy. *Sika Informaciones Técnicas*. Recuperado de: <https://col.sika.com/dms/getdocument.get/5402d44a-9e01-3cdd-ad3f-07d42610f87c/El Concreto de Hoy - 2012.pdf>
- Toirac Corral, J. (2004). Patología de la construcción. Grietas y Fisuras en obras de hormigón. Origen y prevención. *Ciencia y Sociedad*, 29(1), 72–114. Recuperado de: <https://doi.org/10.22206/cys.2004.v29i1.pp72-114>
- Torres, A., Ramos-Cañón, A., Prada-Sarmiento, F., & Botía-Díaz, M. (2016). Comportamiento mecánico de juntas frías lisas de concreto. *Revista Ingeniería de Construcción*, 31(3), 151–162. Recuperado de: <https://doi.org/10.4067/s0718-50732016000300001>
- Toxement. (2017). *Guía de Reparación de Hormigueros*. Recuperado de: <https://www.toxement.com.co/media/3415/reparacio-n-de-hormigueros.pdf>



UNIVERSIDAD DE CUENCA

2.2. PATOLOGÍAS POR EFECTOS TÉRMICOS

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página 81 de 473



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Contenido

2.2.	PATOLOGÍAS POR EFECTOS TÉRMICOS	81
2.2.1.	Introducción	83
2.2.2.	Variaciones volumétricas por temperatura	83
2.2.3.	Cargas térmicas diferentes	84
2.2.4.	Restricción al cambio volumétrico	87
2.2.5.	Agrietamiento térmico en concreto recién colocado	88
2.2.6.	Daños por fuego	90
2.2.7.	Bibliografía	93

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **82** de **473**



2.2.1. Introducción

El principal problema de los efectos térmicos son las variaciones bruscas de temperatura en las estructuras de concreto, las cuales producen cambios de volumen. Las variaciones volumétricas crean esfuerzos cuando el hormigón está restringido, los esfuerzos pueden ser de todo tipo como, por ejemplo; esfuerzos de tensión, compresión, cortante entre otros. Como resultado de estos esfuerzos se puede producir agrietamientos, astillamientos e incluso grandes deflexiones. (Emmons, 2005)

2.2.2. Variaciones volumétricas por temperatura

2.2.2.1. Causas

Los materiales al ser sometidos a cambios de temperatura varían su volumen; con el hormigón sucede lo mismo. El cambio de volumen es directamente proporcional al cambio de temperatura, es decir, si se sube la temperatura aumenta el volumen y si decrece la temperatura se reduce el volumen. El coeficiente térmico del hormigón es 5×10^{-6} mm/mm/°C. (Emmons, 2005)

El Gráfico 40 muestra el aumento de longitud que tiene un elemento cuando se incrementa la temperatura del mismo.

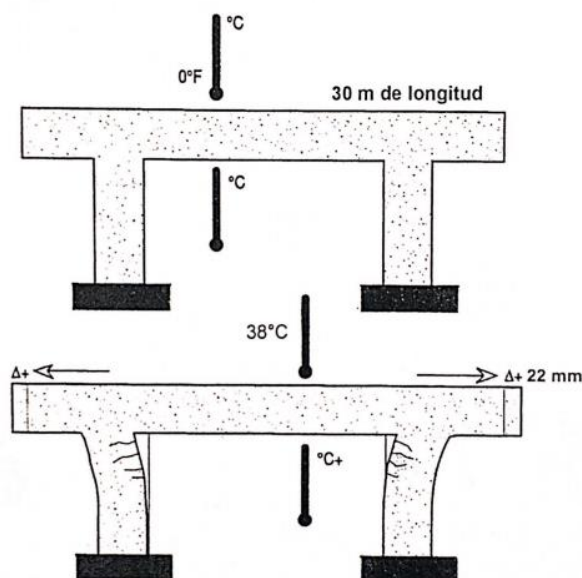


Gráfico 40 Variación de volumen por cambio de temperatura. Fuente: (Emmons, 2005)

2.2.2.2. Características

Las principales características son (Calavera, 2005):

- Alargamiento o contracción del elemento.
- Deformación de los elementos conectados al afectado.
- Agrietamiento de elementos estructurales.
- Las fisuras aparecen en elementos de espesor considerable y son casi horizontales.



2.2.2.3. Consecuencias

Agrietamiento de los elementos conectados. Las fisuras por contracción térmica son más comunes que las fisuras por dilatación debido a que la resistencia a la tracción es mucho menor que la resistencia a la compresión.

2.2.2.4. Ejemplo



Gráfico 41 Ejemplo real de cambio de volumen por temperatura. Fuente: (Heyarqui)

2.2.3. Cargas térmicas diferentes

2.2.3.1. Causas

Este problema se presenta cuando existe una diferencia considerable de temperatura entre la parte exterior de un elemento y la parte interior del mismo. Estos cambios son comunes en losas de cubierta, las cuales están expuestas directamente a los rayos solares; este fenómeno se lo conoce como “calentamiento solar diurno”. (Emmons, 2005)

La temperatura es la misma en la estructura hasta que los rayos solares cambian la temperatura del exterior provocando cambios en la estructura, como se indica en el Gráfico 42.

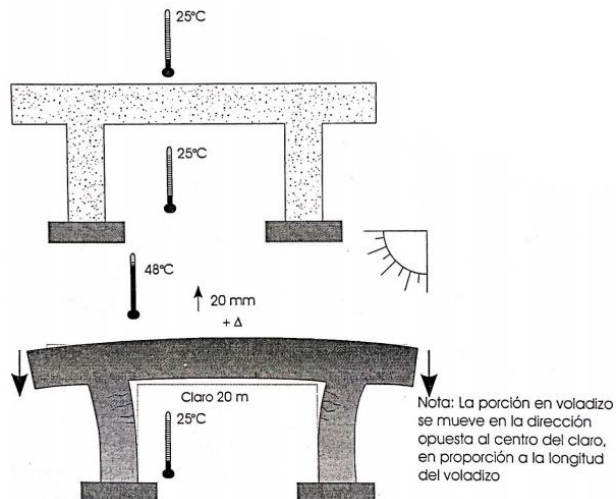


Gráfico 42 Cargas térmicas diferentes. Fuente: (Emmons, 2005)



Cuando se tienen estructuras continuas el elemento no tiene libertad para girar en los soportes; en estos casos pueden formarse grietas si hay un gradiente térmico considerable y una buena capacidad de tensión en la parte inferior del elemento. Las grietas se expanden a mayor temperatura y se contraen cuando la temperatura baja. (Emmons, 2005)

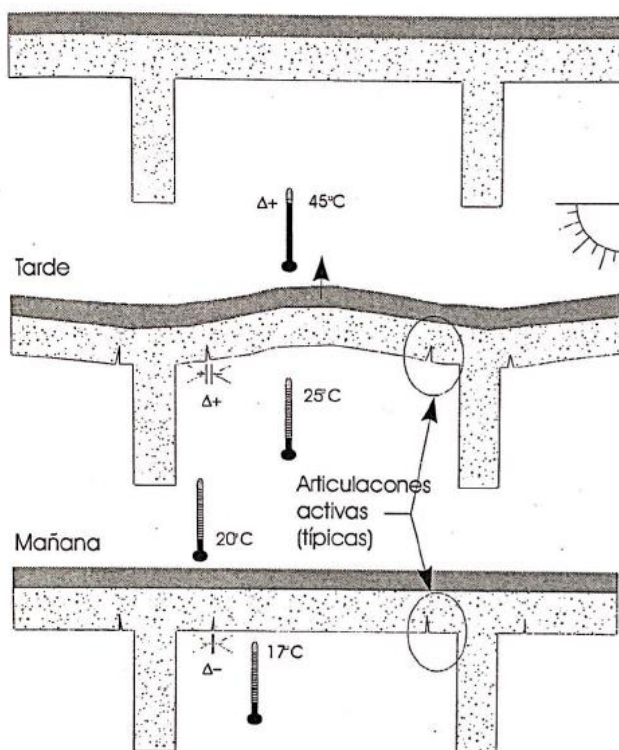


Gráfico 43 Cargas térmicas diferentes en tramos continuos. Fuente: (Emmons, 2005)

2.2.3.2. Características

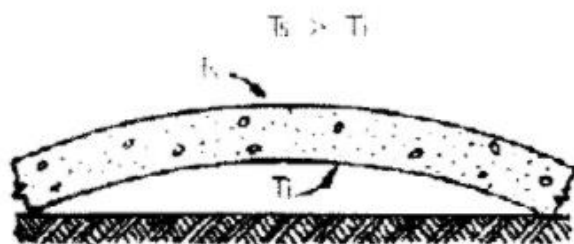
- Deflexión hacia arriba o hacia abajo del elemento.
- Agrietamiento en los elementos.
- Este problema se da generalmente entre un día y una semana desde el vertido del hormigón.

2.2.3.3. Consecuencias

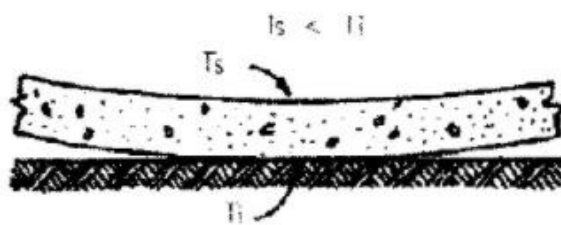
- La superficie de arriba del elemento se expande más que la superficie de abajo, por lo tanto, se da un movimiento hacia arriba durante el calentamiento y un movimiento hacia abajo cuando existe enfriamiento.
- Al girar los extremos del elemento se impone esfuerzos en los apoyos de la viga.



2.2.3.4. Ejemplo



T_s = temperatura de la cara superior de la losa
 T_i = temperatura de la cara inferior de la losa



T_s = temperatura de la cara superior de la losa
 T_i = temperatura de la cara inferior de la losa

Gráfico 44 Ejemplo de movimiento del elemento por cargas térmicas diferentes. Fuente: (Toirac Corral, 2004)



2.2.4. Restricción al cambio volumétrico

2.2.4.1. Causas

Cuando el elemento estructural está restringido se acumulan los esfuerzos, estos esfuerzos deben liberarse; esta liberación tendrá lugar en la conexión entre el elemento y otras partes de la estructura o en las zonas débiles del elemento. (Emmons, 2005)

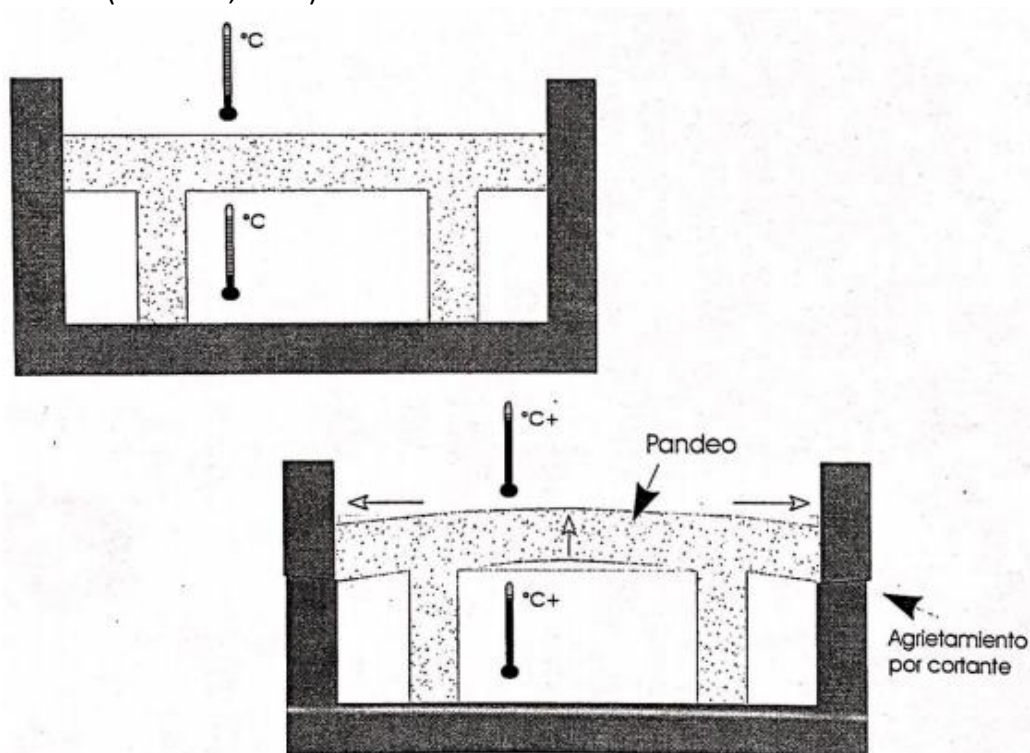


Gráfico 45 Restricción al cambio volumétrico. Fuente: (Emmons, 2005)

Es un problema no común porque debe existir un cambio de temperatura significativo para provocar esfuerzos grandes y que estos provoquen agrietamiento del elemento.

2.2.4.2. Características

- Pandeo del elemento estructural.
- Agrietamiento en el elemento o en otros elementos conectados al mismo.

2.2.4.3. Consecuencias

- La liberación de esfuerzos tiende a provocar agrietamiento, ya sea por tensión o cortante.
- Pandeo del elemento estructural.



2.2.4.4. Ejemplo



Gráfico 46 Ejemplo real de restricción al cambio de volumen. Fuente: (Rt arquitectura, n.d.)

2.2.5. Agrietamiento térmico en concreto recién colocado

2.2.5.1. Causas

La elevación de temperatura del hormigón tiene lugar entre las primeras horas o días luego del vertido, debido a la hidratación del cemento. Luego de dos o tres días, cuando se da el enfriamiento, el concreto tiene una baja resistencia a tensión. Sumándole la contracción térmica del elemento, se obtienen condiciones ideales para la aparición de grietas por tensión. Las elevaciones tempranas de temperatura se pueden dar por (Emmons, 2005):

- Temperatura inicial de los materiales, principalmente del agregado.
- Temperatura ambiente.
- Condiciones de curado, se recomienda hacerlo con agua para disipar la acumulación de calor.
- Remoción temprana de encofrados, esto reduce la temperatura pico.
- Tamaño de las secciones, mayor tamaño genera más calor.
- Cantidad de cemento, si se utiliza más cemento se alcanzan mayores temperaturas.
- Material de encofrados, la madera genera más calor que el fierro.
- Enfriamiento rápido.

El Gráfico 47 indica la diferencia entre la temperatura del concreto y la temperatura ambiente durante los primeros días luego del vertido de hormigón.

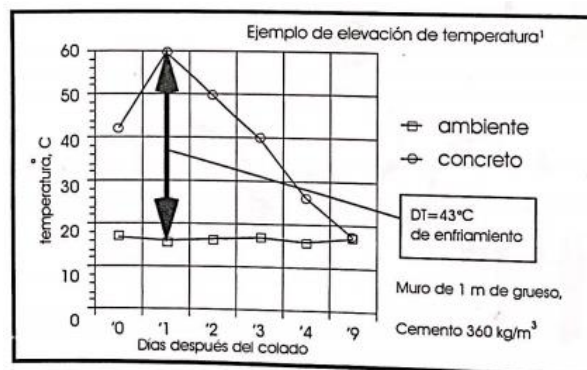


Gráfico 47 Diferencias de temperaturas en los primeros días luego del vertido. Fuente: (Emmons, 2005)

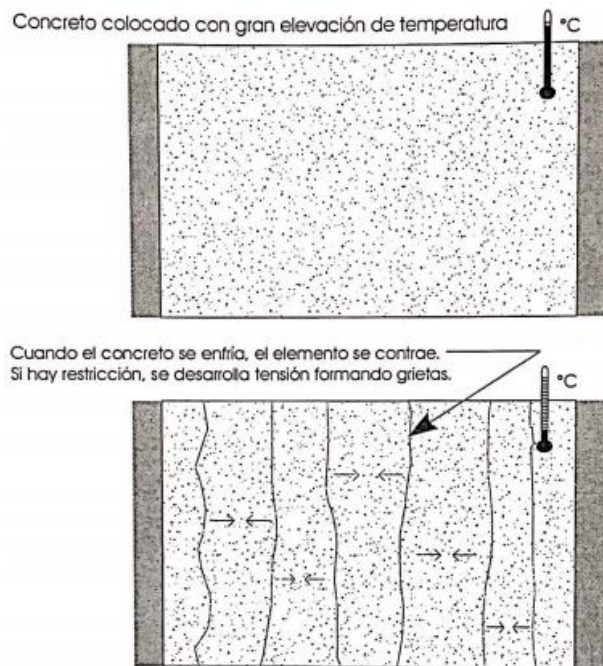


Gráfico 48 Agrietamiento térmico temprano. Fuente: (Emmons, 2005)

2.2.5.2. Características

- Este problema se da generalmente entre un día y una semana desde el vertido del hormigón.
- Agrietamiento de poca profundidad y ancho apreciable (0.2 a 0.5 mm).

2.2.5.3. Consecuencias

- Fisuras debidas a esfuerzos de tensión.

2.2.5.4. Ejemplo



Gráfico 49 Ejemplo real de fisura por retracción térmica. Fuente: (Claros, 2020)



2.2.6. Daños por fuego

El hormigón es un material que, generalmente, tiene una buena resistencia a altas temperaturas; sin embargo, cuando se encuentra expuesto a temperaturas muy elevadas por tiempos prolongados puede generar cambios en la estructura que pongan en riesgo la seguridad estructural y la seguridad de las personas. (Alonso & Flor Laguna, 2013)

2.2.6.1. Causas

En la mayoría de casos estos daños se dan debido a incendios, accidentales o provocados. Estos problemas pueden agravarse debido a la falta de regulación en la construcción e incumplimiento de normas, la falta de un adecuado sistema contra incendios; además, la estructura debe ser capaz de mantener condiciones de estabilidad para permitir el desalojamiento de personas y la acción de bomberos. (Alonso & Flor Laguna, 2013; Vega & Burón, 2007)



Gráfico 50 Estructura sometida a la acción del fuego. Edificio Windsor de Madrid. Fuente: (Vega & Burón, 2007)



2.2.6.2. Características

Las principales características hacen referencia al comportamiento del hormigón y acero de refuerzo bajo la acción del fuego.

2.2.6.2.1. Durante la acción del fuego

Las características durante la acción del fuego son (Alonso & Flor Laguna, 2013; Emmons, 2005):

- Cambios desiguales de volumen en elementos estructurales.
- Explosiones y astillamiento de la superficie de concreto. Debido a la deshidratación de la pasta de cemento que se produce por la transformación rápida de la humedad en vapor de agua, lo que ocasiona tensiones elevadas en los poros.
- El mortero de cemento se transforma en cal viva cuando alcanza una temperatura de 400°C.
- El acero se expande rápidamente perdiendo adherencia con el concreto.

2.2.6.2.2. Después de la acción del fuego

Una vez acabada la acción del fuego, las características son las siguientes (Alonso & Flor Laguna, 2013):

- Desprendimientos, provocados en el enfriamiento del hormigón debido a la variación de gradientes térmicos y pérdidas de propiedades del hormigón.
- Cambio de color, amarillento, en la pasta de cemento.
- Cambio de color, marrón-rojizo, en los áridos de silicio.
- Aparición de una capa de óxido, color marrón-rojizo o negro, en el acero de refuerzo.

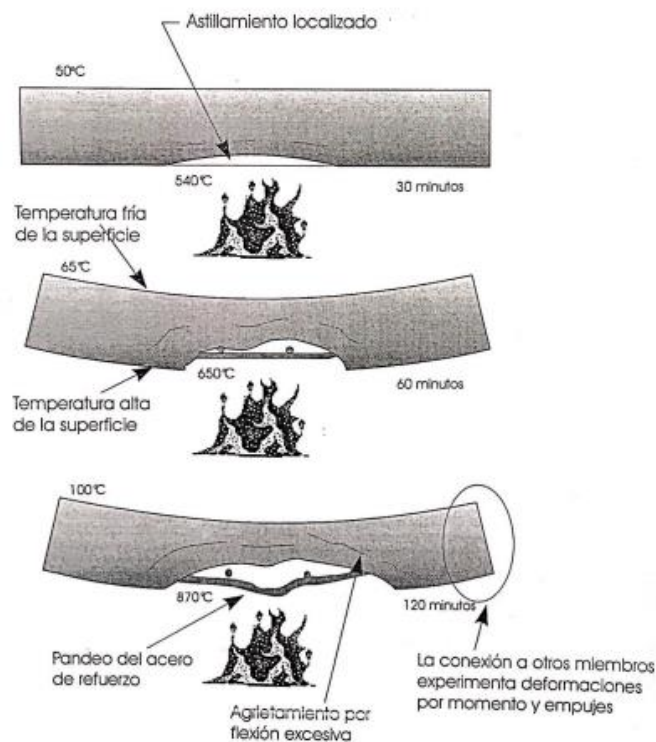


Gráfico 51 Daño por fuego. Fuente: (Emmons, 2005)



2.2.6.3. Consecuencias

Las consecuencias más importantes son (Vega & Burón, 2007):

- Disminución de los módulos de elasticidad, es decir, reducción en la rigidez. (Tabla 7)
- Aumenta la deformabilidad de la estructura.
- Pérdida de resistencia a tracción del acero de la armadura. (Tabla 6)
- Disminución de la resistencia a compresión del hormigón. (Tabla 6)
- Posible colapso de la estructura.

El hormigón protege al acero y evita que este tome la temperatura del fuego, como se muestra en la Tabla 5.

Temperatura alcanzada en un incendio (°C)			
t (min)	En el incendio	En la armadura con un recubrimiento r (mm)	
		r = 30	r = 45
30	815	205	140
60	925	370	270
90	990	490	350
120	1030	570	425
150	1070	620	490
180	1100	660	510

Tabla 5 Temperatura de la armadura de recubrimiento en un incendio. Fuente: (Vega & Burón, 2007)

Temperatura (°C)	Pérdida de resistencia (%)	
	Acero	Hormigón
20	0	0
400	15	15
500	30	30
600	60	40
700	85	60

Tabla 6 Pérdida de resistencia en el acero y hormigón. Fuente: (Vega & Burón, 2007)

Temperatura (°C)	Disminución del módulo de elasticidad	
	Acero	Hormigón
20	0	0
400	30	75
500	40	83
600	70	90
700	87	90

Tabla 7 Disminución del módulo de elasticidad en el acero y hormigón. Fuente: (Vega & Burón, 2007)



2.2.6.4. Ejemplo



Gráfico 52 Ejemplo real de efectos de un incendio. Fuente: (Alonso & Flor Laguna, 2013)

2.2.7. Bibliografía

- Alonso, M. ., & Flor Laguna, V. (2013). Determinación de la profundidad de daño en estructuras de hormigón post-incendio. Revista Alconpat, 3, 1–16. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/4276/427639591002.pdf>
- Calavera, J. (2005). Patología de Estructuras de Hormigón Armado y Pretensado. Atlas de Fisuras.
- Claros, E. (2020). ¿Cuál debe ser la temperatura máxima del concreto fresco? 360 En Concreto. Recuperado de: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/categoria/normatividad/191cual-debe-ser-la-temperatura-maxima-del-concreto-fresco>
- Emmons, P. (2005). Manual ilustrado de Reparación y Mantenimiento del concreto. In Análisis, estrategias y técnicas de reparación. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
- Heyarqui. (n.d.). Grietas o Fisuras ¿Son peligrosas? Recuperado de: <https://www.heyarqui.com/grietas-y-fisuras/>
- Rt arquitectura. (n.d.). Tipos de fisuras y grietas en el hormigón. Recuperado de: <https://www.rtarquitectura.com/tipos-de-fisuras-y-grietas-en-el-hormigon/>
- Toirac Corral, J. (2004). Patología de la construcción. Grietas y Fisuras en obras de hormigón. Origen y prevención. Ciencia y Sociedad, 29(1), 72–114. Recuperado de: <https://doi.org/10.22206/cys.2004.v29i1.pp72-114>
- Vega, L., & Burón, M. (2007). Seguridad frente al fuego de las estructuras de hormigón. Hormigón y Concreto, No 899(Marzo 2007), 44–51. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2254661>



UNIVERSIDAD DE CUENCA

2.3. PATOLOGÍAS POR EFECTOS DE HUMEDAD

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página 94 de 473



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Contenido

2.3.	PATOLOGÍAS POR EFECTOS DE HUMEDAD	94
2.3.1.	Introducción	96
2.3.2.	Contracción por secado.....	96
2.3.3.	Transmisión del vapor de agua	98
2.3.4.	Cambios de volumen.....	100
2.3.5.	Alabeos	101
2.3.6.	Eflorescencias.....	103
2.3.7.	Bibliografía	104



2.3.1. Introducción

En el hormigón recién vertido, los espacios entre las partículas están llenas de agua. Con el paso del tiempo, el concreto va perdiendo humedad y esto hace que el volumen de la mezcla se contraiga, produciendo esfuerzos de contracción lo que da como resultado un agrietamiento por contracción. Se hace énfasis en los problemas más importantes causados por la humedad como los cambios de volumen y la transmisión de vapor a través del concreto. (Emmons, 2005)

La humedad es impulsora de la desintegración y la corrosión; estos problemas son tratados en las secciones 2.4 y 2.5, respectivamente.

2.3.2. Contracción por secado

2.3.2.1. Causas

Este problema se da cuando el concreto pierde el agua original, por su exposición a la atmósfera, y se contrae. Un concreto de peso normal se contrae entre 400 y 800 microdeformaciones (Una microdeformación es igual a 1×10^{-6} mm/mm). Cuando el elemento tiene restricciones de movimiento los esfuerzos que se forman pueden exceder la resistencia a tensión del concreto. (Emmons, 2005)

Ejemplo:

La deformación para una losa de 6m se calcula a continuación:

- Longitud de una losa: 6m
- Contracción por secado:

$$\begin{array}{ccc} 1 \text{ microdeformación} & \leftarrow \div & 1 \times 10^{-6} \text{ mm/mm} \\ 600 \text{ microdeformaciones} & \searrow x & x = 0.0006 \text{ mm/mm} \end{array}$$

- Contracción de la losa:

$$0.0006 \text{ mm/mm} \times 6000 \text{ mm} = \mathbf{3.6 \text{ mm}}$$

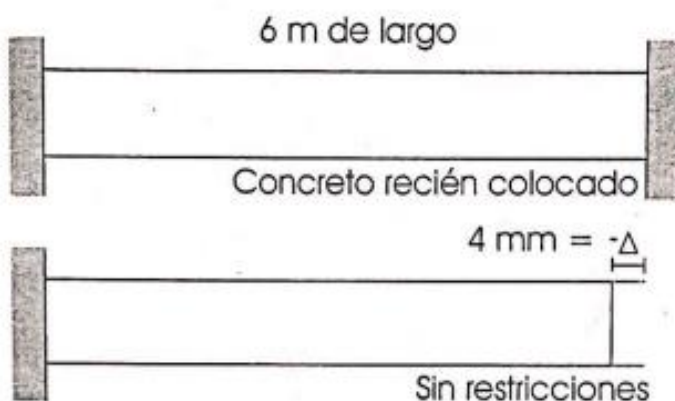


Gráfico 53 Contracción por secado. Fuente: (Emmons, 2005)



2.3.2.2. Características

Las características son (Emmons, 2005):

- Si no se tienen restricciones de movimiento el elemento reducirá su tamaño, esta variación probablemente sea imperceptible para el ojo humano. (Gráfico 53)
- Si se tiene restricciones, pero el hormigón no tiene acero de refuerzo se producirá un agrietamiento en función de la longitud del elemento, como se indica en la sección 2.3.2.1. (Gráfico 54)
- Cuando el elemento tiene restricciones de movimiento y además posee acero de refuerzo se produce un agrietamiento, pero el acero controla los anchos y las grietas. (Gráfico 54)

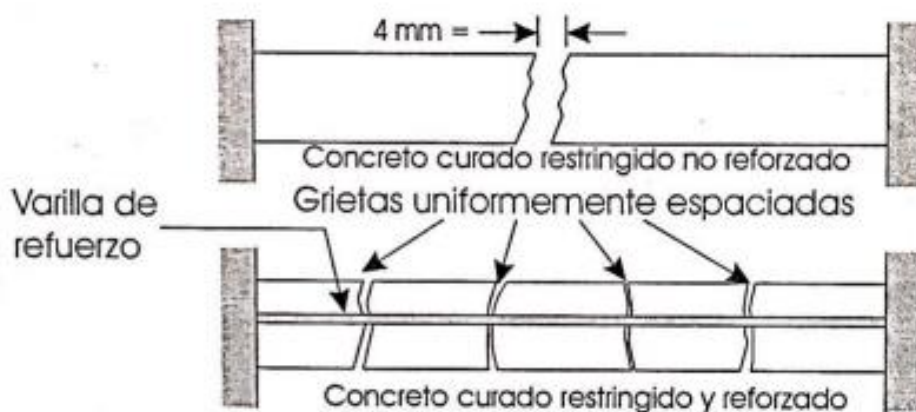


Gráfico 54 Agrietamiento en elementos con y sin restricción de movimiento. Fuente: (Emmons, 2005)

Además, otras características relevantes de éstas patologías son: (Calavera, 2005)

- Aparición de fisuras a algunas semanas o meses después del endurecimiento del hormigón.
- Secuencia de separación casi constante.

2.3.2.3. Consecuencias

- Aunque no representa problemas estructurales, las grietas causadas por contracción por secado, en casos extremos, puede dar paso a la infiltración de agua y elementos corrosivos a las varillas de refuerzo.



2.3.2.4. Ejemplo



Gráfico 55 Ejemplo real de contracción por secado. Fuente: (Galistar, 2020)

2.3.3. Transmisión del vapor de agua

2.3.3.1. Causas

El vapor del agua contenido en el hormigón se desplaza desde una humedad relativa alta a una humedad relativa más baja, es por ello que el agua tiene posibilidad de trasladarse cuando un elemento de hormigón tiene una variedad de niveles de humedad relativa (Emmons, 2005). Este problema ocurre principalmente en las losas de concreto y la humedad puede aparecer en estas por diferentes razones (National Ready Mixed Concrete Association, 2017):

- El agua ascendente causada por la presión hidrostática, cuando la losa está por debajo del nivel freático permanente o estacional.
- Cuando la losa está en contacto con suelo húmedo provocado por: lluvia, sistemas de irrigación, tuberías rotas, entre otros.
- Agua de suelos de grano fino trasladada por capilaridad, ya que estos suelos pueden succionar agua desde distancias considerables.
- Vapor de agua de suelos húmedos.
- La humedad residual propia de la losa. En cualquier lugar pueden pasar de 6 semanas a 1 año o más para que una losa de concreto logre secarse hasta un nivel normal.

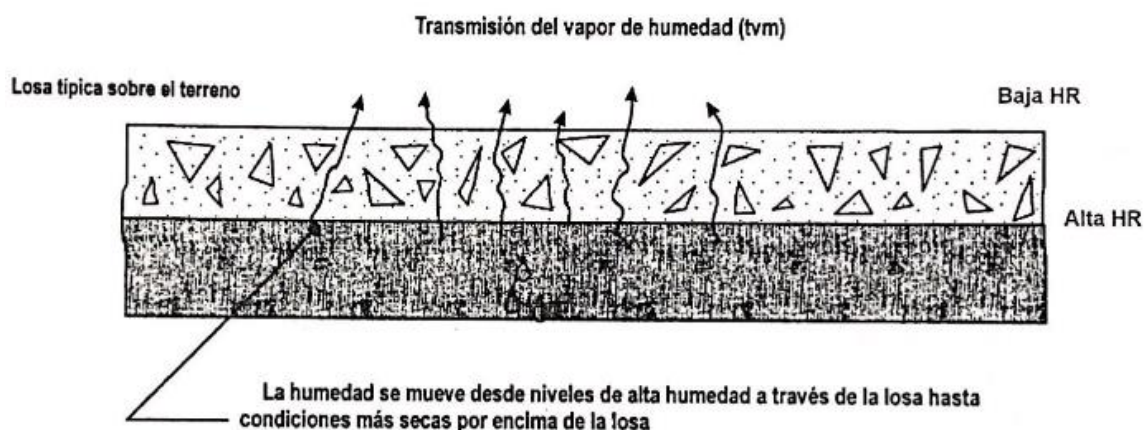


Gráfico 56 Transmisión de vapor de agua en una estructura de concreto. Fuente: (Emmons, 2005)

2.3.3.2. Características

- Zonas más oscuras, debido a la humedad transmitida por el elemento de concreto.
- Acumulación de humedad por capilaridad.
- En casos extremos, se puede producir capas de moho y hongos.

2.3.3.3. Consecuencias

- Problemas de adherencia de los materiales que cubren el piso, tales como: losetas, láminas de piso o alfombras.
- Una vez humedecida la losa, la humedad puede continuar a los muros y paredes como un efecto de sorbete provocando a mediano plazo la delaminación de enlucidos. (Gráfico 58)

2.3.3.4. Ejemplo



Gráfico 57 Ejemplo real de piso dañado por el agua ascendente por la presión de vapor. Fuente: (Guarch, 2011)



UNIVERSIDAD DE CUENCA



Gráfico 58 Ejemplo real de pared delaminada por el agua ascendente por capilaridad. Fuente: (Alario, 2012)

2.3.4. Cambios de volumen

2.3.4.1. Causas

De igual manera como el concreto húmedo se contrae cuando pierde humedad (sección 2.3.2), el concreto seco se expande cuando se humecta.

2.3.4.2. Características

Variaciones de la longitud original del elemento.

2.3.4.3. Consecuencias

Aumento de esfuerzos perpendiculares a la cara de la restricción.

2.3.4.4. Ejemplo

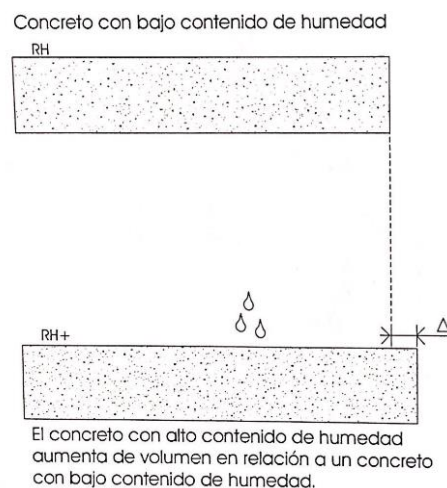


Gráfico 59 Ejemplo de cambio de volumen por temperatura en losa. Fuente: (Emmons, 2005)

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página 100 de 473



2.3.5. Alabeos

2.3.5.1. Causas

Es una patología que comúnmente se da en las losas asentadas en el terreno. Ocurre por la existencia de diferentes gradientes de temperatura y humedad en el espesor de la losa. Normalmente, las superficies de las losas están secas en su parte superior, por su exposición al aire, y húmedas en la parte inferior, debido al contacto con el suelo. La superficie seca cuando está expuesta al sol, tiende a contraerse a lo largo, mientras que la parte húmeda permanece igual, esto provoca un alabeo u ondulación hacia arriba. El alabeo se agrava si hay un aumento constante de contracción por secado. (Emmons, 2005)

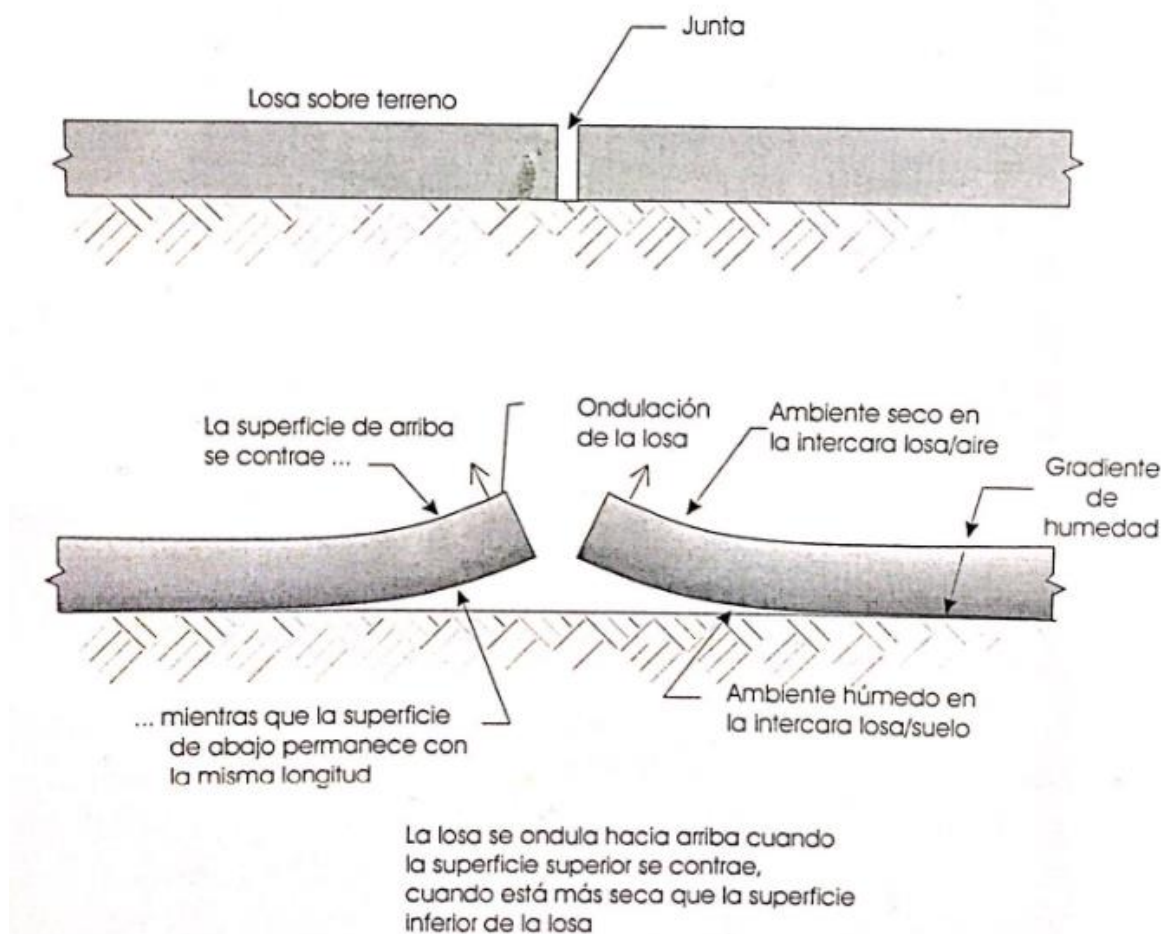


Gráfico 60 Ondulación de losa por diferentes gradientes de humedad. Fuente: (Emmons, 2005)



2.3.5.2. Características

- Alabeo u ondulación de losa



Gráfico 61 Tipos de alabeos. Fuente: (Calo, 2008)

2.3.5.3. Consecuencias

- En losas de pavimentos (Gráfico 62), pueden causar accidentes de tránsito y daños materiales

2.3.5.4. Ejemplo



Gráfico 62 Alabeo de losas de pavimento en Verapaz Guatemala. Fuente: (Caminos CIV, 2017)



2.3.6. Eflorescencias

2.3.6.1. Causas

Es un fenómeno que ocurre cuando la humedad disuelve las sales de calcio en el concreto y se trasladan a la superficie a través de la capilaridad. Cuando las sales llegan a la superficie, reaccionan con el CO₂ contenido en el aire y cuando se evaporan dejan como resultado un depósito mineral que es el carbonato de calcio. (Toxement, 2017a)

2.3.6.2. Características

Las principales características de las eflorescencias son las siguientes: (Corporación de desarrollo Técnico & Cámara chilena de la construcción, 2012; Toxement, 2017a)

- Manchas de color usualmente blanco, pero también pueden ser blanco azulado o grises. Producto de los depósitos de sales.
- Superficie algodonosa cristalizada.
- Pueden aparecer en pocas o grandes cantidades, y también pueden formarse de manera lenta como rápida, dependiendo de la cantidad de humedad a la que está sometido el concreto y del calcio libre que contiene.
- Puede tardar hasta 15 años en desaparecer.

2.3.6.3. Consecuencias

Este problema no causa problemas estructurales, pero daña el aspecto y color del concreto.

2.3.6.4. Ejemplo



Gráfico 63 Ejemplo real de muro de hormigón con eflorescencias. Fuente: (Hcm Hormigones, 2018)



2.3.7. Bibliografía

- Alario, E. (2012). Humedades por Capilaridad en Obras de Construcción. Patologías. Recuperado de: <https://enriquealario.com/humedades-por-capilaridad-en-obras-de-construccion/>
- Calavera, J. (2005). Patología de Estructuras de Hormigón Armado y Pretensado. Atlas de Fisuras.
- Calo, D. (2008). Diseño de pavimentos rígidos. Jornada de Actualización Técnica. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/henryj20/diseo-pavimento-rigido>
- Caminos CIV. (2017). Trabajos de losa por alabeo en kilómetro 207+100, Bif. CA-14, 197 Santa Cruz Verapaz-San Juan Chamelco. Recuperado de: https://twitter.com/caminos_civ/status/859464615377416192
- Corporación de desarrollo Técnico, & Cámara chilena de la construcción. (2012). Humedad por Condensación en Viviendas. Documentos Técnicos, 33. Recuperado de: <https://extension.cchc.cl/datafiles/30807-2.pdf>
- Emmons, P. (2005). Manual ilustrado de Reparación y Mantenimiento del concreto. In Análisis, estrategias y técnicas de reparación. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
- Galistar. (2020). Todo sobre fisuración del hormigón. Recuperado de: <https://www.galistar.es/fisuracion-hormigon/>
- Guarch, F. (2011). ¿Porque se mancha el porcelánico pulido? ¿Por humedad? ¿No es un producto sin absorción? Humedades En General. Recuperado de: <https://humedadcontrolada.com/porque-se-me-mancha-el-porcelanico-pulido-no-es-un-producto-sin-absorcion/>
- Hcm Hormigones. (2018). Eflorescencias en el hormigón ¿cuál es su origen? Recuperado de: <http://www.hcmhormigones.es/index.php/2018/09/27/eflorescencias-en-el-hormigon-cual-es-su-origen/>
- National Ready Mixed Concrete Association. (2017). CIP 28 - Humedad de la losa de concreto. El Concreto En La Práctica. Recuperado de: <https://concretesupplyco.com/wp-content/uploads/2017/01/28pes.pdf>
- Toxement. (2017). Eflorescencias del concreto. Recuperado de: https://www.toxement.com.co/media/3396/eflorescencias_concreto.pdf



UNIVERSIDAD DE CUENCA

2.4. PROCESOS DE DESINTEGRACIÓN

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **105** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Contenido

2.4.	PROCESOS DE DESINTEGRACIÓN	105
2.4.1.	Introducción	107
2.4.2.	Exposición a agentes químicos agresivos	107
2.4.3.	Desintegración por congelamiento y deshielo	108
2.4.4.	Reacción álcali-agregado	111
2.4.5.	Ataques de sulfatos	112
2.4.6.	Erosión	114
2.4.7.	Bibliografía	117

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **106** de **473**



2.4.1. Introducción

Los procesos de desintegración hacen referencia a los diferentes mecanismos que puedan causar:

- Destroce de los componentes del hormigón.
- Separación de los constituyentes del concreto, mediante cambios de volumen expansivos.
- Desgaste de los componentes por abrasión o cavitación.

Estos procesos pueden ser causados por factores externos, como la congelación, o por factores internos, como las reacciones álcali-agregados. (Emmons, 2005)

2.4.2. Exposición a agentes químicos agresivos

2.4.2.1. Causas

En varias ocasiones las sustancias agresivas se propagan a través del medio ambiente, en estado líquido o gaseoso. La reacción entre el ácido (inorgánicos, orgánicos o minerales) y el hidróxido de calcio del cemento Portland producen compuestos de calcio, los cuales son lixiviados. Las alteraciones provocadas pueden hacerse presentes a corto, mediano o largo plazo. En agregados de piedra caliza o dolomitas, el ácido al entrar en contacto puede provocar su disolución. (Asociación Colombiana de Productores de Concreto, 2020b; Emmons, 2005)

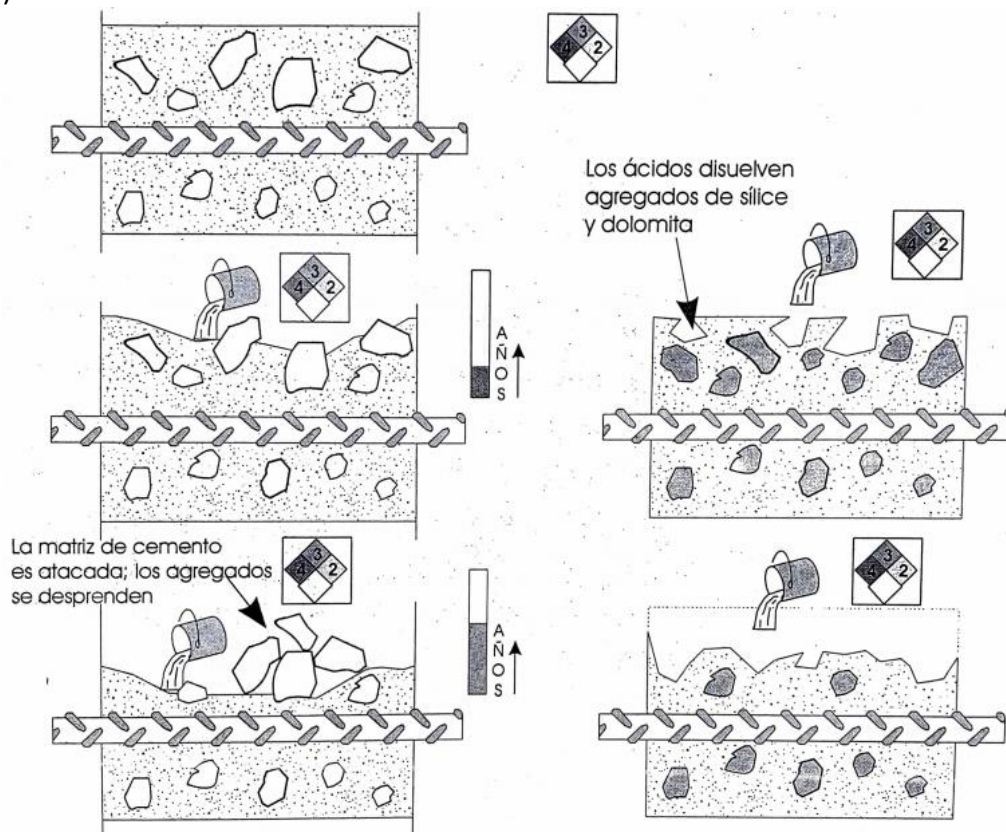


Gráfico 64 Exposición a agentes químicos agresivos. Fuente: (Emmons, 2005)



2.4.2.2. Características

- La matriz de cemento se elimina paulatinamente.
- Los agregados quedan en la superficie.
- Los agregados se desprenden o se disuelven.

2.4.2.3. Consecuencias

- Degradación del concreto.
- Pérdida de resistencia.
- Desintegración de la estructura.
- Exposición de las varillas de acero.

2.4.2.4. Ejemplo



Gráfico 65 Ejemplo real de desintegración del concreto por agentes químicos. Fuente: (Asociación Colombiana de Productores de Concreto, 2020b)

2.4.3. Desintegración por congelamiento y deshielo

2.4.3.1. Causas

Los procesos de desintegración por congelamiento y deshielo ocurren en superficies horizontales en contacto con el agua o en superficies verticales que están en la línea de agua dentro de las estructuras. La desintegración se puede dar cuando existen ciclos de temperatura de congelación y deshielo dentro del concreto y cuando se tiene un concreto poroso que absorbe agua. El agua de congelación que se encuentra en los poros de la estructura se expande convirtiéndose en hielo y provocan fuerzas de tensión en el hormigón. (Emmons, 2005)

La velocidad de deterioro aumenta en las siguientes condiciones (Emmons, 2005):

- Incrementación de porosidad.
- Aumento de saturación de humedad.
- Elevado número de ciclos de congelación y deshielo.
- Presencia de agua estancada en superficies horizontales.



- Agregados con alta absorción.

La velocidad de desintegración disminuye cuando se incluye aire en el concreto, con esto se aumenta la resistencia a la deterioración. El Gráfico 66 indica la diferencia entre muestras sin incluir aire y con aire incluido sometidas a 150 ciclos de congelación. (Notas de Concretos, 2013)



Gráfico 66 Especímenes con y sin aire sometidos a congelación-deshielo. Fuente: (Notas de Concretos, 2013)

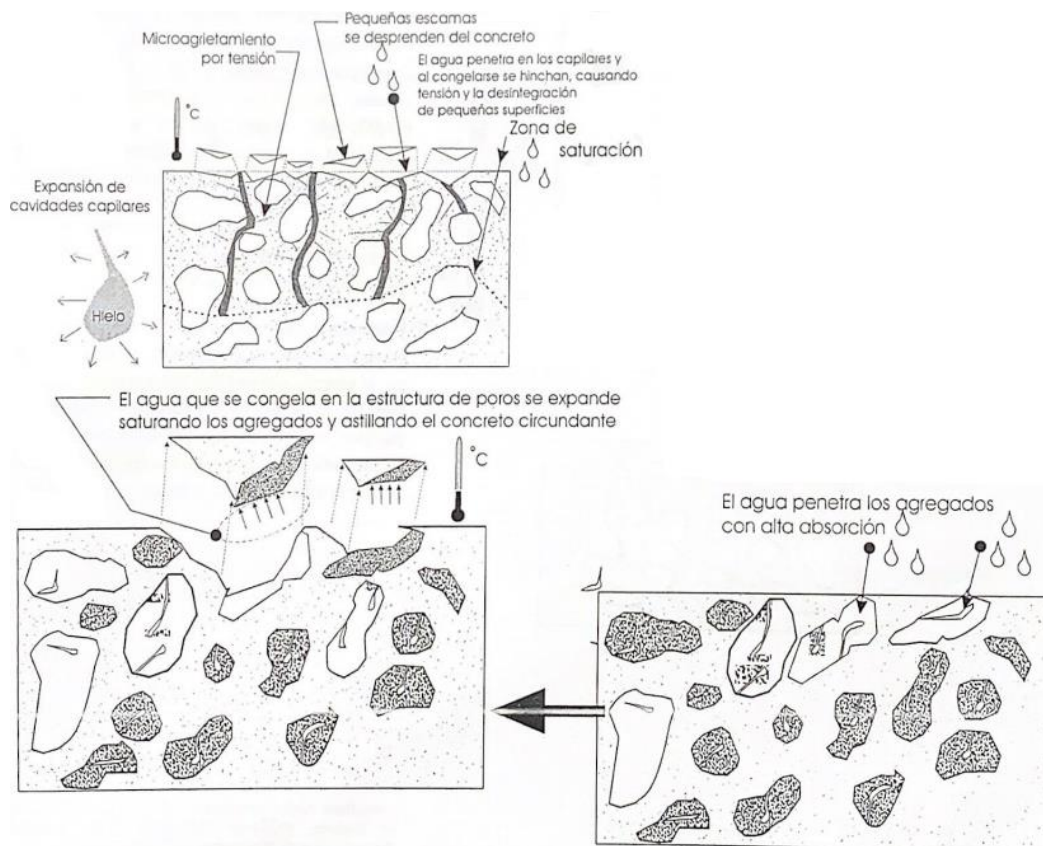


Gráfico 67 Desintegración por congelamiento y deshielo. Fuente: (Emmons, 2005)



2.4.3.2. Características

- Agrietamiento por tensión.
- Desprendimiento de capas de hormigón.
- Superficie irregular de concreto.

2.4.3.3. Consecuencias

Las consecuencias son (Páez Moreno et al., 2009):

- Desintegración de pequeñas superficies.
- Astillamiento del concreto.
- Reducción de resistencia a la compresión.
- Reducción de la durabilidad de la estructura.

2.4.3.4. Ejemplo

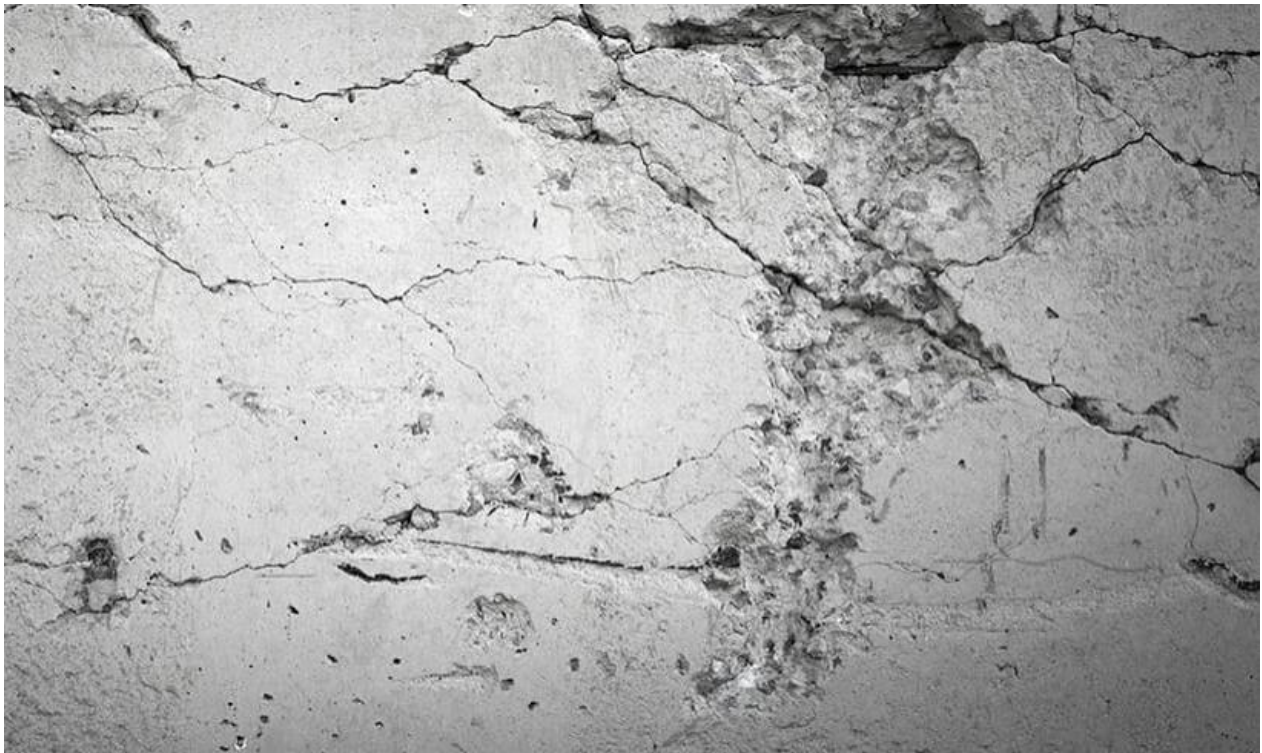


Gráfico 68 Ejemplo real de deterioro del hormigón por ciclos congelación-deshielo. Fuente: (Krystaline waterproof concrete, 2019)



2.4.4. Reacción álcali-agregado

2.4.4.1. Causas

Estos efectos se dan cuando ciertos agregados como formas reactivas de sílice reaccionan con componentes presentes en el cemento (hidróxido de potasio, sodio y calcio) y dan como resultado un gel alrededor de los agregados. Dichos problemas no se presentan a edades tempranas, se requieren años y condiciones específicas, como exposición permanente a humedad, para activar la reacción y crear problemas en la estructura. (Asociación Colombiana de Productores de Concreto, 2020a; Emmons, 2005)

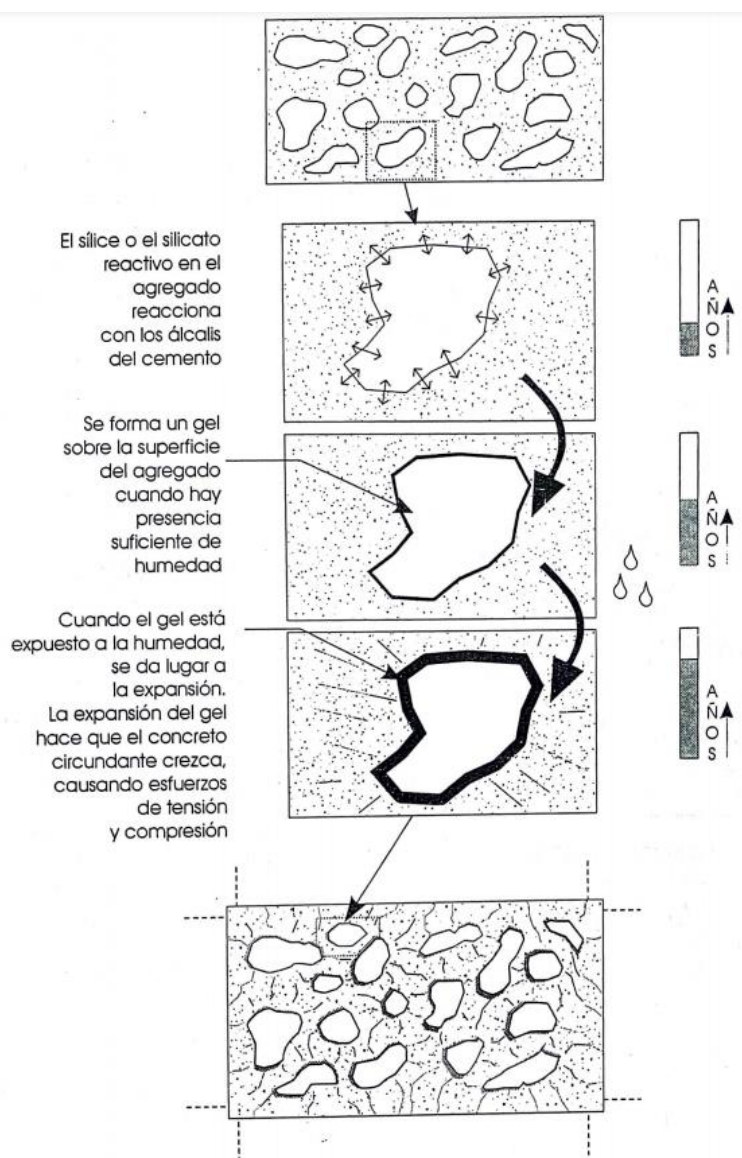


Gráfico 69 Reacción álcali-agregado Fuente: (Emmons, 2005)



2.4.4.2. Características

Para que se formen fisuras, agrietamientos o se produzca algún año en la estructura deben pasar años. Para identificar la presencia de reacciones álcali-agregado se usan exámenes petrográficos del concreto o técnica de fluorescencia. Cuando los efectos se comienzan a notar, se forman agrietamientos o fisuras. (Emmons, 2005)

2.4.4.3. Consecuencias

- Expansión del concreto.
- Agrietamientos por tensión y compresión de las estructuras.
- Fisuras en pavimentos de concreto.
- Además, cuando se forman las grietas entra más humedad acelerando la reacción y daño adicional por congelación y deshielo.

2.4.4.4. Ejemplo



Gráfico 70 Ejemplo real de fisuras causadas por la reacción álcali-agregado. Fuente: (Notas de Concretos, 2011)

2.4.5. Ataques de sulfatos

2.4.5.1. Causas

El ataque de sulfatos se da cuando concentraciones de sulfatos tienen contacto con los compuestos hidratados del concreto (cal hidratada y aluminato de calcio). Los sulfatos de calcio, sodio y magnesio son los más comunes y se encuentran en el suelo, agua y procesos industriales; los sulfatos de magnesio son menos comunes y más destructivos. La reacción da productos resultantes como yeso (reacción del sulfato con hidróxido de calcio) o ettringita (reacción de sulfato de calcio con el aluminato de calcio hidratado), estos sólidos tienen mayor volumen que los productos que entran en la reacción y producen problemas en el hormigón. (360 en Concreto, 2020; Departamento Técnico de Productos CAVE S.A., 2017; Emmons, 2005)

El deterioro que sufra el concreto depende de (360 en Concreto, 2020):

- Los constituyentes del concreto.
- La calidad del concreto.
- La concentración del sulfato.

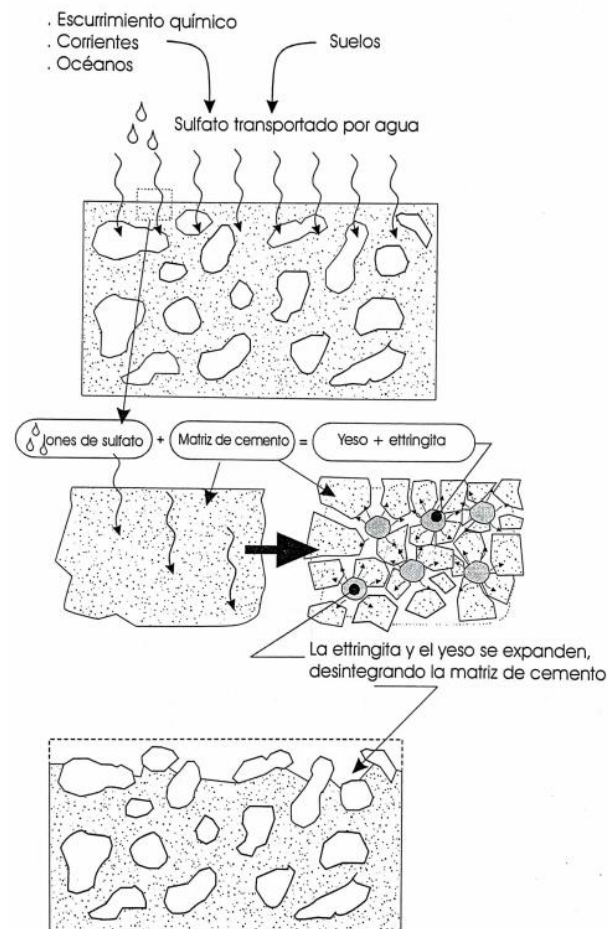


Gráfico 71 Ataque de sulfatos. Fuente: (Emmons, 2005)

2.4.5.2. Características

- Desintegración de la matriz de cemento.
- Los agregados quedan descubiertos.

2.4.5.3. Consecuencias

Las principales consecuencias son (360 en Concreto, 2020; Emmons, 2005):

- Rotura de la pasta.
- Desintegración del hormigón.
- Deterioro del concreto.
- Expansión, ruptura y ablandamiento del concreto.
- Pérdida de adherencia entre la pasta y los agregados.
- Reducción de resistencia mecánica.



2.4.5.4. Ejemplo



Gráfico 72 Ejemplo real de ataque de sulfatos. Fuente: (Asociación de Fabricantes de Morteros y Sate, 2019)

2.4.6. Erosión

2.4.6.1. Causas

2.4.6.1.1. Cavitación

Cuando existen cambios de presión en un flujo de agua a gran velocidad se forman burbujas de vapor, el colapso de estas se conoce con el nombre de cavitación. Estos problemas comúnmente ocurren en presas hidráulicas. (Emmons, 2005)

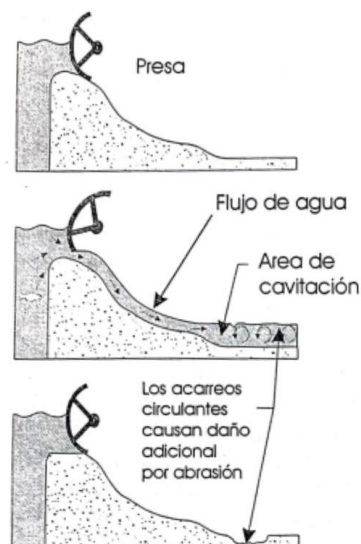


Gráfico 73 Cavitación. Fuente: (Emmons, 2005)



2.4.6.1.2. Abrasión

La abrasión ocurre por elementos que rozan sobre la superficie de hormigón, produciendo un desgaste e la misma (Wikilibros, 2006). Existen factores que afectan la resistencia a abrasión (Emmons, 2005):

- Resistencia a compresión.
- Propiedades de los agregados.
- Métodos de acabado.
- Uso de capas de desgaste.
- Curado.



Gráfico 74 Abrasión. Fuente: (Emmons, 2005)

2.4.6.2. Características

2.4.6.2.1. Cavitación

Formación de cavidades en forma de picaduras.

2.4.6.2.2. Abrasión

Formación de superficie suave y deslizante.

2.4.6.3. Consecuencias

2.4.6.3.1. Cavitación

- Desgaste del concreto.
- Arrancamiento progresivo del hormigón.
- Erosión de la matriz de cemento.

2.4.6.3.2. Abrasión

- Desgaste del concreto.
- Erosión de la matriz de cemento.
- En ocasiones, destrucción del hormigón.



2.4.6.4. Ejemplo

2.4.6.4.1. Cavitación



Gráfico 75 Ejemplo real de cavitación. Fuente: (Arango Mejía, 2013)



Gráfico 76 Ejemplo real de falla por cavitación de la base del aliviadero de la presa de Oroville. Fuente: (Mosquera, 2017)



2.4.6.4.2. Abrasión



Gráfico 77 Ejemplo real de abrasión. Fuente: (Arango Mejía, 2013)

2.4.7. Bibliografía

- 360 en Concreto. (2020). Lo que debes saber sobre el ataque de sulfato en el concreto. Recuperado de: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/ataque-de-sulfato-en-el-concreto>
- Arango Mejía, S. (2013). Causas de daños en el concreto. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/SergioPap/patologia-del-concreto-causas-de-daos-en-el-concreto>
- Asociación Colombiana de Productores de Concreto. (2020a). ¿Cómo evitar la reacción álcali agregado? Recuperado de: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/191como-evitar-la-reaccion-alkali-agregado>
- Asociación Colombiana de Productores de Concreto. (2020b). 5 acciones químicas que deterioran el concreto. Tecnología Del Concreto. Recuperado de: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/5-acciones-quimicas-que-deterioran-el-concreto-1>
- Asociación de Fabricantes de Morteros y Sate. (2019). Causas químicas del deterioro del hormigón. Artículos Técnicos Morteros de Reparación de Hormigón. Recuperado de: <https://anfapa.com/articulos-tecnicos-morteros-de-reparacion-de-hormigon/1164/causas-quimicas-del-deterioro-del-hormigon>
- Departamento Técnico de Productos CAVE S.A. (2017). Hormigón en ambiente de sulfatos. EMB Construcción. Recuperado de: <http://www.emb.cl/construccion/articulo.mvc?xid=1161&ni=hormigon-en-ambiente-de-sulfatos>
- Emmons, P. (2005). Manual ilustrado de Reparación y Mantenimiento del concreto. In Análisis, estrategias y técnicas de reparación. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
- Krystalline waterproof concrete. (2019). Ciclos hielo-deshielo del hormigón. Boletín Técnico. Recuperado de: <https://krystallinewaterproofconcrete.com/ciclos-hielo-deshielo-del-hormigon/>
- Mosquera, O. (2017). El caso de la presa de Oroville. Patologías En Presas. Recuperado de: <https://www.eadic.com/patologias-en-presas-el-caso-de-la-presa-de-oroville/>
- Notas de Concretos. (2011). Deterioro Concreto: Reactividad Álcali-Agregado. Recuperado de: <http://notasdeconcretos.blogspot.com/2011/04/deterioro-concreto-reactividad-alkali.html>
- Notas de Concretos. (2013). Resistencia al Congelamiento y Deshielo del Concreto. Recuperado de: http://notasdeconcretos.blogspot.com/2011/04/resistencia-al-congelamiento-y-deshielo_08.html



UNIVERSIDAD DE CUENCA

- Páez Moreno, D. F., Leal Moreno, V. E., & Restrepo Burgos, M. (2009). Influencia de los Ciclos Hielo-Deshielo en la Resistencia del Concreto (Caso Tunja). Revista Ingenierías Universidad de Medellín. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n15s1/v8n15s1a10.pdf>
- Wikilibros. (2006). Lesiones y Disgregación. Patología de La Edificación. Recuperado de: https://es.wikibooks.org/wiki/Patología_de_la_edificación/Estructuras_de_hormigón/Lesiones/Disgregación



UNIVERSIDAD DE CUENCA

2.5. CORROSIÓN DEL ACERO DE REFUERZO

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página 119 de 473



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Contenido

2.5.	CORROSIÓN DEL ACERO DE REFUERZO.....	119
2.5.1.	Introducción	121
2.5.1.1.	Proceso de corrosión.....	121
2.5.1.2.	Reducción de la capacidad estructural	122
2.5.2.	Agrietamiento y astillamiento por corrosión	122
2.5.3.	Penetración de cloruros	123
2.5.4.	Carbonatación.....	127
2.5.5.	Aluminosis.....	130
2.5.6.	Corrosión en elementos estructurales	131
2.5.7.	Corrosión galvánica	132
2.5.8.	Bibliografía	135

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **120** de **473**



2.5.1. Introducción

Un concreto mezclado recientemente tiene un pH entre 12 y 13, es decir es altamente alcalino. En estos valores de pH el acero de refuerzo está protegido contra la corrosión mediante una película ubicada alrededor de la varilla; si esta película se rompe da lugar a la corrosión. (Emmons, 2005)

2.5.1.1. Proceso de corrosión

Es un proceso electroquímico que necesita un electrolito (matriz del concreto húmedo), un ánodo y un cátodo (proporcionados por el acero de refuerzo), esta reacción genera un aumento de volumen del metal. La reacción se dará siempre que exista agua y oxígeno. La corrosión será más veloz si se reduce el pH, si existen metales diferentes o si existe presencia de químicos agresivos. (Emmons, 2005)

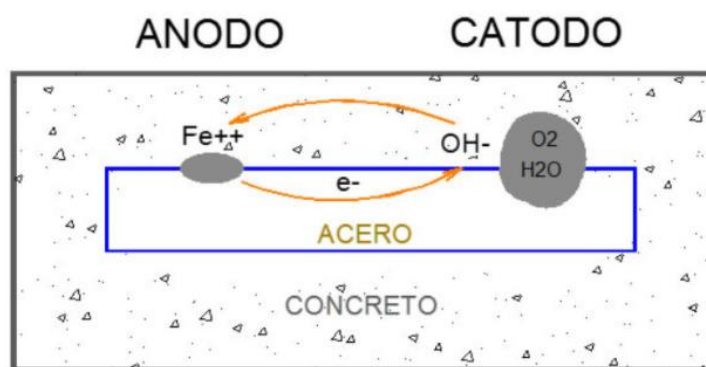
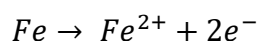


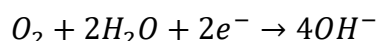
Gráfico 78 Corrosión en estructuras de hormigón armado. Fuente: (Guerrero Martínez et al., 2016)

La reacción se detalla a continuación (Durango Jiménez & Gamarra Torres, 2014):

El ánodo y el cátodo normalmente están presentes en la misma barra de acero de refuerzo, pero también pueden estar en barras adyacentes del armado. El ánodo es donde se da lugar a la corrosión y el elemento metálico, en este caso el hierro, sufre una reacción de oxidación o reacción anódica debido a la pérdida de electrones, creando iones de hierro (Fe^{2+}).

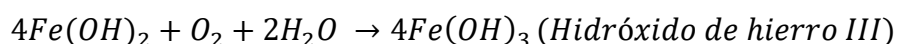


El cátodo es la ubicación donde el hierro no es consumido debido a que el oxígeno atmosférico, en presencia de agua, acepta electrones (reducción) y forma iones hidroxilos (OH^{-}).



La solución electrolítica es el medio que permite fácilmente el flujo de electrones entre el ánodo y el cátodo, como resultado, en el concreto, al ser expuesto a humedad se crea una conductividad suficiente para que funcione como un electrolito.

Hasta el momento se tiene el hidróxido de hierro II ($Fe(OH)_2$), que sigue oxidándose:





Para que la corrosión ocurra, la capa pasiva del acero de refuerzo necesita ser eliminada, esto ocurre cuando se combina oxígeno, agua y agentes agresivos como los cloruros, aumentando la conductividad y minimizando la resistividad del concreto.

2.5.1.2. Reducción de la capacidad estructural

La corrosión de las varillas y el agrietamiento que pueden producir estas en el concreto son factores que afectan a la capacidad estructural del elemento. La capacidad de elementos a compresión como de vigas a flexión se ven afectadas debido a la reducción de la sección transversal efectiva del concreto y la disminución del diámetro de varilla. En una viga con corrosión de 4.5% la carga última que puede resistir el elemento se reduce en 12%. (Emmons, 2005)



Gráfico 79 Reducción de la capacidad del acero. Fuente: (Emmons, 2005)

2.5.2. Agrietamiento y astillamiento por corrosión

2.5.2.1. Causas

El volumen creado por los óxidos generados en la superficie de la varilla puede llegar hasta cinco veces el tamaño de la varilla, provocando tensiones radiales en el recubrimiento. Cuando estas tensiones sobrepasan la resistencia a tracción del concreto se producen grietas, fisuras y desprendimientos del hormigón. (Humeingeniería, 2015)

El agrietamiento del concreto va a depender de (Emmons, 2005):

- Resistencia a tensión del concreto.
- Espesor del recubrimiento.
- Adherencia entre el acero de refuerzo y el concreto.
- Diámetro de la varilla.
- Porcentaje de corrosión.

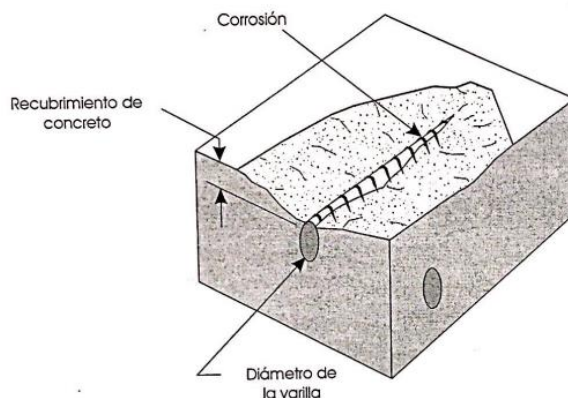


Gráfico 80 Reducción de la capacidad del acero. Fuente: (Emmons, 2005)



La relación entre el espesor y el diámetro de la varilla (C/D) es importante para conocer cuando comienza el agrietamiento. En un elemento con mayor relación C/D el agrietamiento comienza más tarde que en un elemento con una relación C/D menor.

2.5.2.2. Características

- Pérdida del recubrimiento.
- Formación de película de corrosión en las varillas.
- Astillamiento en el concreto.

2.5.2.3. Consecuencias

- Exposición del acero de refuerzo.
- Pérdida de adherencia de la varilla y el concreto.
- Agrietamiento del hormigón.
- Corrosión de la varilla de refuerzo.
- Reducción de la capacidad estructural (sección 2.5.1.2).

2.5.2.4. Ejemplo



Gráfico 81 Ejemplo real de agrietamiento por corrosión. Fuente: (Humeingeniería, 2015)

2.5.3. Penetración de cloruros

2.5.3.1. Causas

La penetración de cloruros se da cuando el concreto se encuentra en contacto con agua de mar o sales descongelantes (cloruro de calcio o cloruro de sodio), dicha penetración puede generar la corrosión de la varilla y efectos negativos en la estructura. La velocidad de penetración depende de (Emmons, 2005):

- La cantidad de cloruros que tienen contacto con el concreto.
- La humedad.
- La permeabilidad.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Mientras menor sea el pH, la corrosión necesitará una menor cantidad de iones de cloruro para comenzar. La penetración de cloruros puede darse por grietas y juntas de construcción presentes en el concreto. El ancho de grieta tolerable en hormigón armado se muestra en la Tabla 8.

Condición de exposición	Ancho de grieta tolerable (mm)
Aire seco, membrana protectora	0,41
Humedad, aire húmedo, suelo	0,30
Químicos para descongelar	0,18
Agua de mar	0,15
Estructuras que retienen el agua	0,10

Tabla 8 Ancho tolerable bajo distintas condiciones. Fuente: (ACI 224R, 2001)

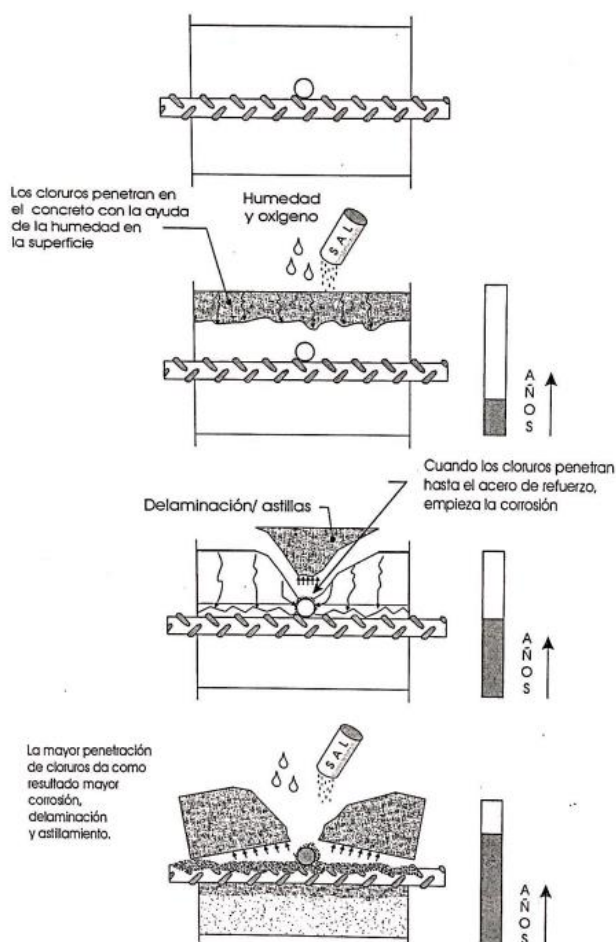


Gráfico 82 Reducción de la capacidad del acero. Fuente: (Emmons, 2005)

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página 124 de 473



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Los cloruros pueden estar presentes en la mezcla del hormigón, ya sea en acelerantes o en los agregados. Los cloruros que están en los aditivos son solubles en agua y son considerados los más dañinos. La cantidad de iones de cloruro en el concreto se indica en la Tabla 9.

Condición de servicio	% de iones de cloruro con respecto al peso del cemento
Concreto presforzado	0,06
Concreto reforzado en un ambiente húmedo y expuesto a cloruros	0,10
Concreto reforzado en un ambiente húmedo no expuesto a cloruros	0,15
Construcción de edificios por encima del suelo en donde el concreto permanecerá seco	sin límite

Tabla 9 Porcentaje de iones de cloruro bajo distintas condiciones. Fuente: (ACI 201.2R, 2001)

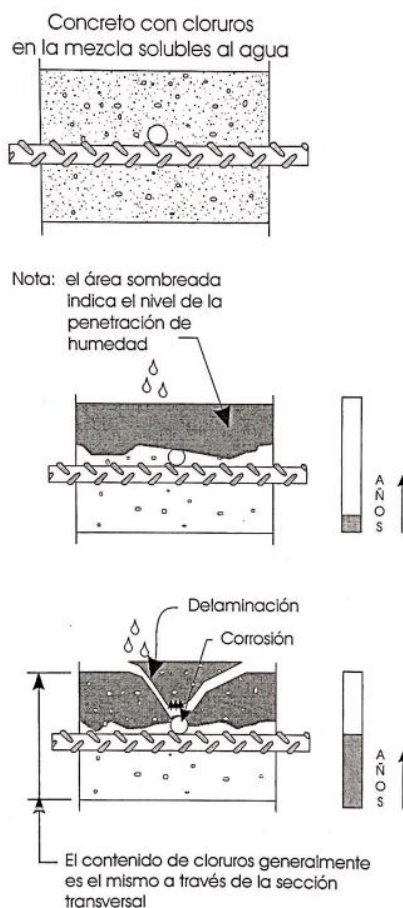


Gráfico 83 Reducción de la capacidad del acero. Fuente: (Emmons, 2005)

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página 125 de 473



2.5.3.2. Características

- Pérdida de recubrimiento.
- Formación de una capa de herrumbre (sustancia color marrón) en los aceros.
- Delaminación del concreto.

2.5.3.3. Consecuencias

Las principales consecuencias son (Echeverría et al., 2013; Emmons, 2005):

- Corrosión del acero de refuerzo, incluso en algunos casos en las varillas más profundas.
- Astillamiento del hormigón debido a que las cargas actúan en concreto flojo.
- Reducción de la capacidad estructural (sección 2.5.1.2).
- Cuando existen grietas se produce un astillamiento profundo (Gráfico 84).

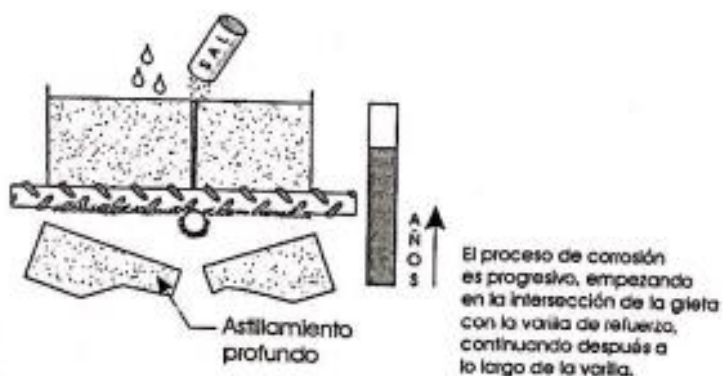
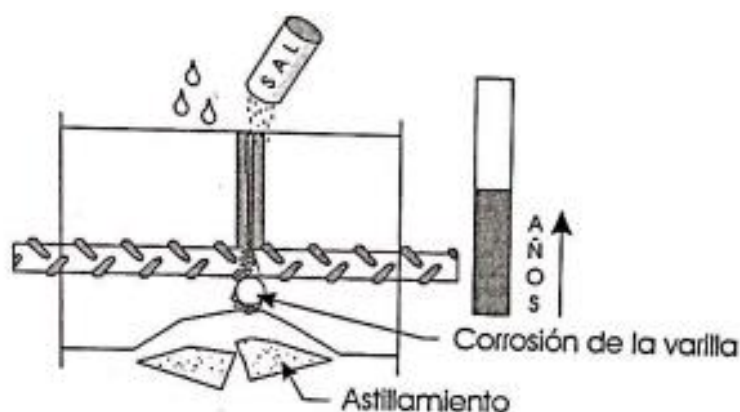


Gráfico 84 Reducción de la capacidad del acero. Fuente: (Emmons, 2005)



2.5.3.4. Ejemplo



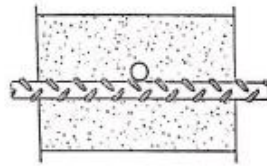
Gráfico 85 Ejemplo real de daño por ataque de cloruros. Fuente: (Eadic, 2013)

2.5.4. Carbonatación

2.5.4.1. Causas

La reacción entre el dióxido de carbono, que entra por los poros del hormigón, y el óxido de calcio, disuelto en el agua, genera la carbonatación. Cuando esto sucede, el acero de refuerzo queda sin protección, debido a la disminución del pH, dando paso a complicaciones del hormigón y la corrosión del acero. El proceso de carbonatación puede durar bastante tiempo debido a que se necesita un constante cambio en los niveles de humedad. (Emmons, 2005)

La carbonatación aparece cuando no se hace un correcto procedimiento de curado y el aumento de la misma depende de las condiciones de humedad, permeabilidad y porosidad del concreto. El poco recubrimiento del acero el refuerzo puede ayudar al proceso de carbonatación. (Incober, 2020; Montani, 2000)



El pH se reduce por la reacción
 $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$

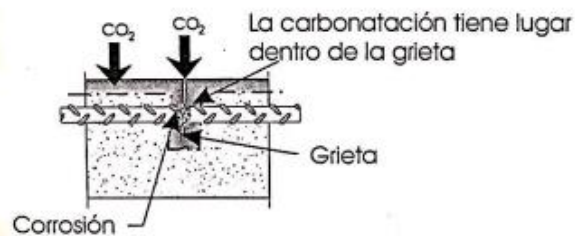
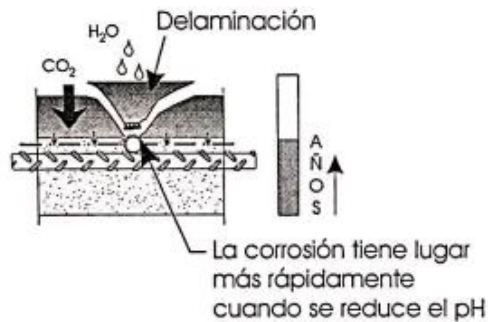
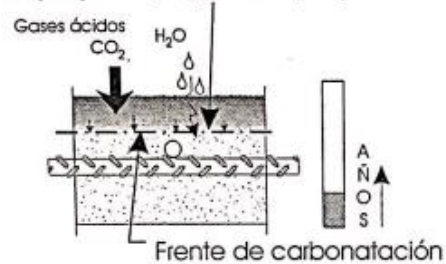


Gráfico 86 Reducción de la capacidad del acero. Fuente: (Emmons, 2005)

2.5.4.2. Características

- Pérdida de recubrimiento.
- Delaminación del concreto.
- Formación de película de corrosión en las varillas.



2.5.4.3. Consecuencias

- Agrietamiento del hormigón.
- Carbonatación.
- Corrosión del acero de refuerzo.
- Reducción de la capacidad estructural (sección 2.5.1.2).

2.5.4.4. Ejemplo



Gráfico 87 Ejemplo real de carbonatación. Fuente: (Chinè-Polito et al., 2018)



2.5.5. Aluminosis

Fue un problema habitual de los edificios construidos a finales de los años 50 y a inicios de los 80, debido al uso del cemento aluminoso; este tipo de cemento proporciona altas resistencias mecánicas al cabo de pocas horas, el fraguado total ocurre en un tiempo menor a 7 días y en 24h alcanza casi su resistencia final. Todas estas propiedades hicieron que fuera muy rentable elaborar prefabricados porque los moldes podían reutilizarse con mayor eficacia y rapidez. Generalmente los prefabricados en los que se utilizó esta técnica fueron viguetas pretensadas y viguetas de forjados de los edificios. Adicionalmente, hay casos en los que se empleó este tipo de cemento donde los encofrados eran muy costosos para permitir un rápido desmoldeo y desapuntalamiento. Sin embargo, mediante la presencia de humedades y calor, los elementos constituidos con este tipo de cemento representan un grave problema ocasionando patologías y condicionando la estabilidad del edificio. (Ingenieros asesores, 2018; MDF Construcción, 2015)

El cemento aluminoso, fue prohibido para la construcción de vigas en 1977 al constatarse su peligrosidad. (Mercado, 1990), y actualmente está prohibido su uso en elementos estructurales. (Ingenieros asesores, 2018)

2.5.5.1. Causas

Como se mencionó en la sección anterior la principal causa de esta patología es el uso de cementos aluminosos. Si bien no es un causante directo de corrosión, este proceso da paso directo a la ella, este tipo de cementos se desintegran en presencia de humedad y calor. La desintegración es producto de una conversión en la que el Aluminato Monocálcico Hidratado (ACH10) se convierte en una fase más estable como Aluminato Tricálcico Hidratado (AC3H6) que ocupa menos espacio y ocasiona más porosidad en el hormigón. (Ingenieros asesores, 2018)

2.5.5.2. Características

Las principales características de un elemento con aluminosis son las siguientes: (MDF Construcción, 2015)

- Se puede identificar el cemento aluminoso por su color, este es ocre o marrón oscuro.
- Manchas de óxido
- Desprendimientos
- Deformaciones, flechas excesivas, pérdidas de sección, grietas en viguetas forjadas.
- Varillas corroídas.

2.5.5.3. Consecuencias

La aluminosis ocasiona los siguientes problemas y daños: (MDF Construcción, 2015)

- Pérdida de resistencia el hormigón y disminución de su volumen.
- Aumento de la porosidad
- Pérdida de adherencia del acero con el hormigón
- Carbonatación o descenso del PH, que desprotegen las armaduras frente a la corrosión.



2.5.5.4. Ejemplo



Gráfico 88 Ejemplo real de aluminosis. Fuente: (Grupo Gestcontrol, 2017)

2.5.6. Corrosión en elementos estructurales

2.5.6.1. Causas

En ocasiones, además del acero de refuerzo, se utilizan elementos estructurales de acero para formar un elemento compuesto o para proteger a la estructura del fuego. Cuando el elemento está expuesto a ambientes agresivos se pueden provocar grietas que llegan hasta el elemento de acero, la humedad o sales corrosivas pueden pasar a través de los mismos llegando a afectar a los elementos de acero y al elemento en general. (Emmons, 2005)

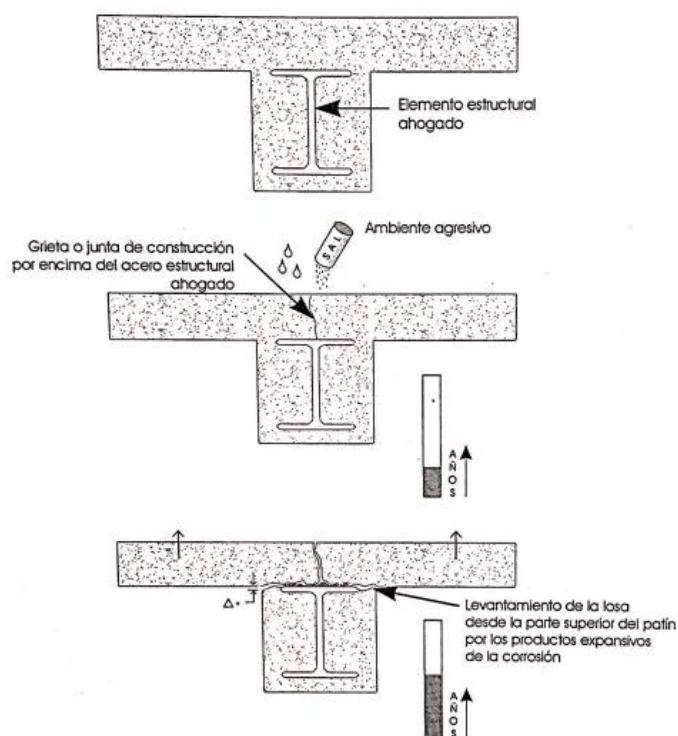


Gráfico 89 Reducción de la capacidad del acero. Fuente: (Emmons, 2005)



2.5.6.2. Características

- Agrietamiento del elemento.
- Formación de película de corrosión en las varillas.
- Levantamiento de la losa.

2.5.6.3. Consecuencias

- Corrosión del caro de refuerzo.
- Separación de la losa y la viga.
- Reducción de la capacidad estructural (sección 2.5.1.2).
- Posible colapso de la estructura.

2.5.6.4. Ejemplo

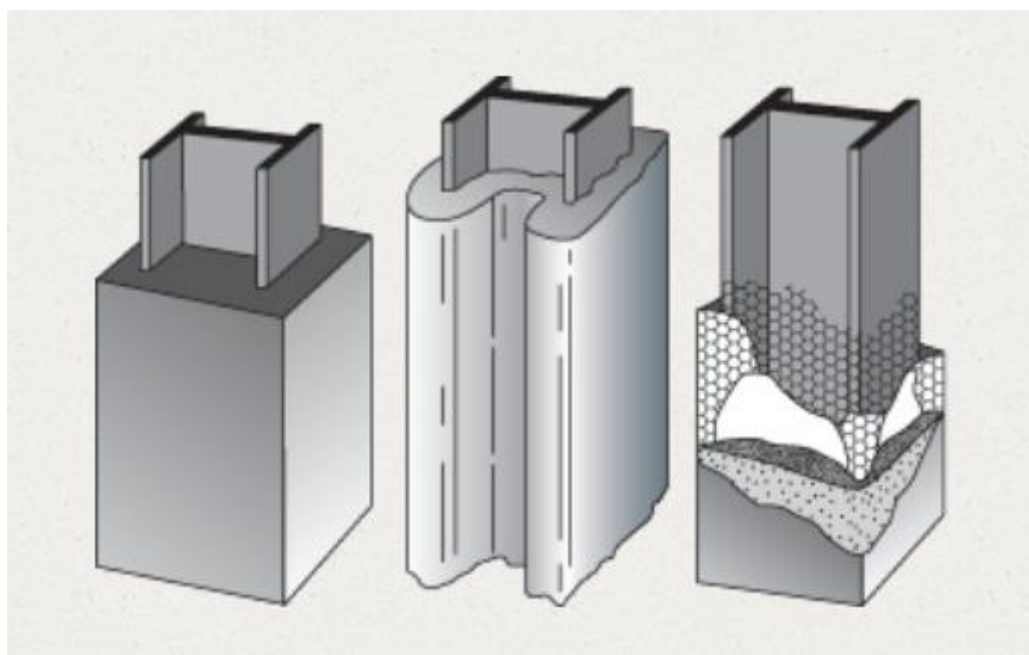


Gráfico 90 Ejemplo de elementos compuestos. Fuente: (Palomo, 2019)

2.5.7. Corrosión galvánica

2.5.7.1. Causas

Cuando se introducen dos metales diferentes en el hormigón cada uno de ellos tiene una tendencia propia para promover la actividad electroquímica; si existe un buen electrolito (matriz de concreto húmedo) se puede producir corrosión. Al tener dos metales conectados por medio del electrolito, se corroe el material menos activo. La siguiente lista muestra de menor a mayor la actividad de los materiales (Emmons, 2005; Sanjuán Fernández, 2016):

- Zinc
- Aluminio
- Acero
- Hierro



- Níquel
- Estaño
- Plomo
- Latón
- Cobre
- Bronce
- Níquel
- Acero inoxidable
- Titanio
- Plata
- Oro
- Platino

Mientras más arriba esté uno de los metales y más distancia exista entre ellos existirá mayor probabilidad de corrosión (Sanjuán Fernández, 2016). Los metales que, normalmente, más contacto tienen son el acero y el aluminio, que se encuentra en pasamanos; es este caso el metal que se corroe es el aluminio porque es el que tiene menor actividad (tomando en cuenta la lista indicada).

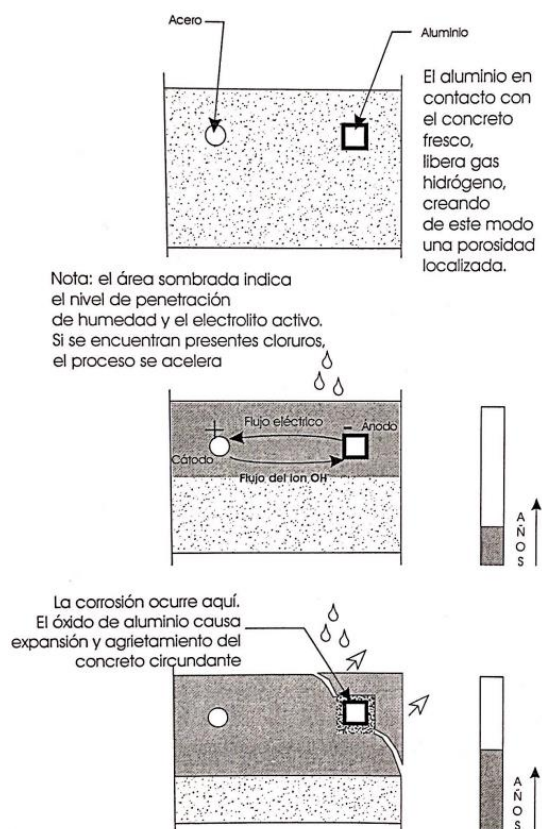


Gráfico 91 Reducción de la capacidad del acero. Fuente: (Emmons, 2005)



2.5.7.2. Características

- Formación de una película de corrosión en el metal con menor actividad.
- Expansión del concreto.
- Agrietamiento del hormigón.

2.5.7.3. Consecuencias

- Agrietamiento del concreto alrededor del metal por las fuerzas de tensión.
- Corrosión del metal con menor actividad.
- Delaminación del concreto.
- Reducción de la capacidad estructural (sección 2.5.1.2).

2.5.7.4. Ejemplo



Gráfico 92 Ejemplo real de corrosión galvánica. Fuente: (Sanjuán Fernández, 2016)



2.5.8. Bibliografía

- ACI 201.2R. (2001). Guía para la Durabilidad del Hormigón. Recuperado de: [https://www.academia.edu/8458239/Guía para la Durabilidad del Hormigón Informado por el Comité ACI 201](https://www.academia.edu/8458239/Guía_para_la_Durabilidad_del_Hormigón_Informado_por_el_Comité_ACI_201)
- ACI 224R. (2001). Control de la Fisuración en Estructuras de Hormigón. Recuperado de: https://www.academia.edu/28125509/ACI_224R_01
- Chinè-Polito, B., Cuevas-Kauffmann, R., Jiménez-Salas, R., & Ortiz-Quesada, G. (2018). Estudio experimental de la carbonatación del concreto. Tecnológico de Costa Rica. Recuperado de: https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/4350/3940
- Durango Jiménez, D. L., & Gamarra Torres, J. L. (2014). Corrosión del concreto simple. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/duvandurangojimenez/corrosin-del-concreto-simple>
- Eadic. (2013). Ataques Químicos al Hormigón. Recuperado de: <https://www.eadic.com/ataques-quimicos-al-hormigon/>
- Echeverría, N., Galvis, H., & Naranjo, J. (2013). Ataque por cloruros del hormigón y del hormigón armado. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/nelsonecheverria2/ataque-por-cloruros-del-hormign-y-del-hormign-armado>
- Emmons, P. (2005). Manual ilustrado de Reparación y Mantenimiento del concreto. In Análisis, estrategias y técnicas de reparación. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
- Grupo Gestcontrol. (2017). Cómo saber si mi edificio tiene aluminosis. Recuperado de: <https://www.grupogestcontrol.com/como-saber-si-mi-edificio-tiene-aluminosis/>
- Guerrero Martínez, J., Montoya Villa, H., De la Cruz Romero, M. A., & Rodríguez López, F. (2016). Identificación y evaluación del riesgo de la corrosión en estructuras de concreto armado en plantas industriales sometidas a un ambiente ácido. CienciAcierta. Recuperado de: <http://www.cienciacierta.uadec.mx/2016/06/29/identificacion-y-evaluacion-del-riesgo-de-la-corrosion-en-estructuras-de-concreto-armado-en-plantas-industriales-sometidas-a-un-ambiente-acido/>
- Humeingeniería. (2015). Corrosión de armaduras por filtración. Recuperado de: <https://humeingenieria.es/blog/corrosion-de-armaduras-por-filtracion/>
- Incober. (2020). Carbonatación del hormigón – Qué es y cuáles son las causas de su aparición. Recuperado de: <https://incober.es/blog/carbonatacion-del-hormigon-que-es-y-cuales-son-las-causas-de-su-aparicion/>
- Ingenieros asesores. (2018). Aluminosis del hormigón. Arquitectura y Edificación. Recuperado de: <https://ingenierosasesores.com/actualidad/aluminosis-del-hormigon/>
- MDF Construcción. (2015). Causas, daños y tratamiento de la aluminosis. Recuperado de: <http://mdfconstruccion.com/2015/07/causas-danos-diagnostico-y-tratamiento-de-la-aluminosis/>
- Mercado, F. (1990, November 24). El fabricante pide la “revisión sistemática” de todos los edificios construidos con cemento aluminoso. El País. Recuperado de: https://elpais.com/diario/1990/11/25/espana/659487614_850215.html
- Montani, R. (2000). La carbonatación, enemigo olvidado del concreto. Construcción y Tecnología. Recuperado de: <http://www.imcyc.com/revista/2000/dic2000/carbonatacion.htm>
- Palomo, J. (2019). ¿Qué es una columna compuesta? Laminas y Aceros. Recuperado de: <https://blog.laminasyaceros.com/blog/tipos-de-columnas-de-acero>
- Sanjuán Fernández, C. (2016). Corrosión galvánica. Patología, Rehabilitación y Construcción. Recuperado de: <https://www.patologiasconstruccion.net/2016/03/corrosion-galvanica/>



UNIVERSIDAD DE CUENCA

2.6. PATOLOGÍAS POR EFECTOS DE CARGAS

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página 136 de 473



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Contenido

2.6.	PATOLOGÍAS POR EFECTOS DE CARGAS	136
2.6.1.	Introducción	138
2.6.2.	Modos de agrietamiento	139
2.6.3.	Cortante de viga/losa a columna	140
2.6.4.	Voladizos	142
2.6.5.	Estructuras continuas	144
2.6.6.	Columnas	147
2.6.6.1.	Compresión	147
2.6.6.2.	Flexión	148
2.6.6.3.	Cortante	150
2.6.7.	Bibliografía	151

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **137** de **473**



2.6.1. Introducción

Las estructuras deben ser diseñadas para soportar cargas, estas pueden ser por el peso propio de los materiales o por cargas externas aplicadas sobre la misma. En la actualidad la mayoría de estructuras son diseñadas y construidas con hormigón armado. El concreto tiene una alta resistencia a la compresión, pero una baja resistencia a la tensión (el 10% de su resistencia a compresión, aproximadamente); esta baja resistencia es compensada por el acero, el cual proporciona la resistencia a tensión necesaria. El acero y el concreto tienen coeficientes de expansión térmica similares, la adherencia entre ellos no permite que las varillas se deslicen, el concreto protege al acero de la corrosión, razones por las cuales el hormigón y el acero trabajan bien juntos. Sin embargo, pueden existir problemas como deflexiones, agrietamientos o astillamientos que pueden ser efectos de las cargas aplicadas. En elementos estructurales como losas y vigas, las cuales deben soportar una tensión considerable, el acero de refuerzo se estira al igual que el concreto; cuando la tensión excede la resistencia a tensión del concreto pueden aparecer fisuras cerca de las varillas. (Emmons, 2005)

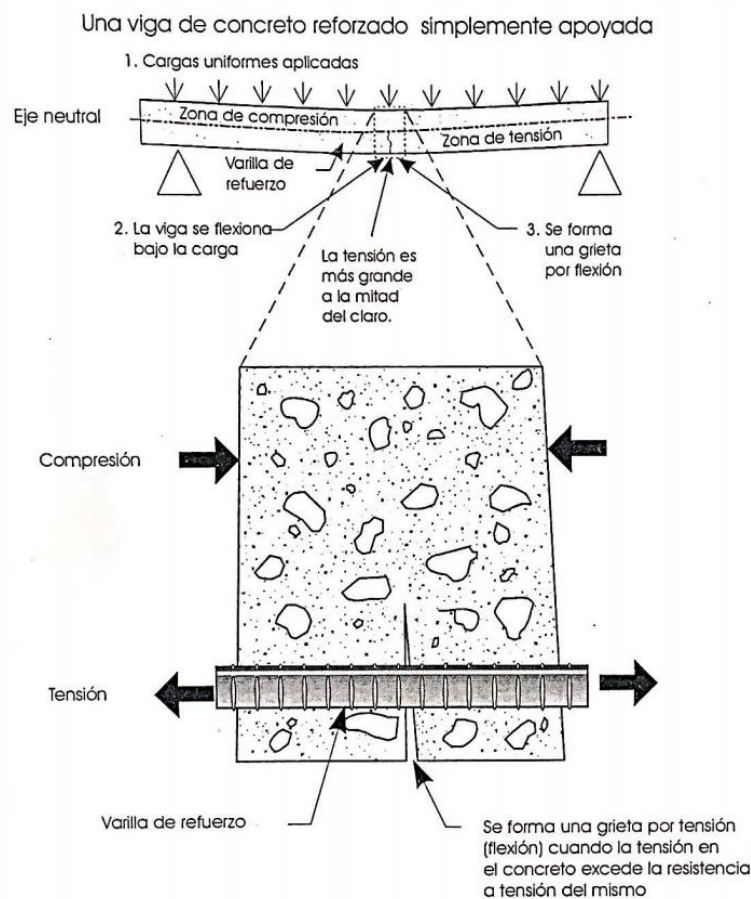


Gráfico 93 Viga de concreto reforzado simplemente apoyada. Fuente: (Emmons, 2005)



2.6.2. Modos de agrietamiento

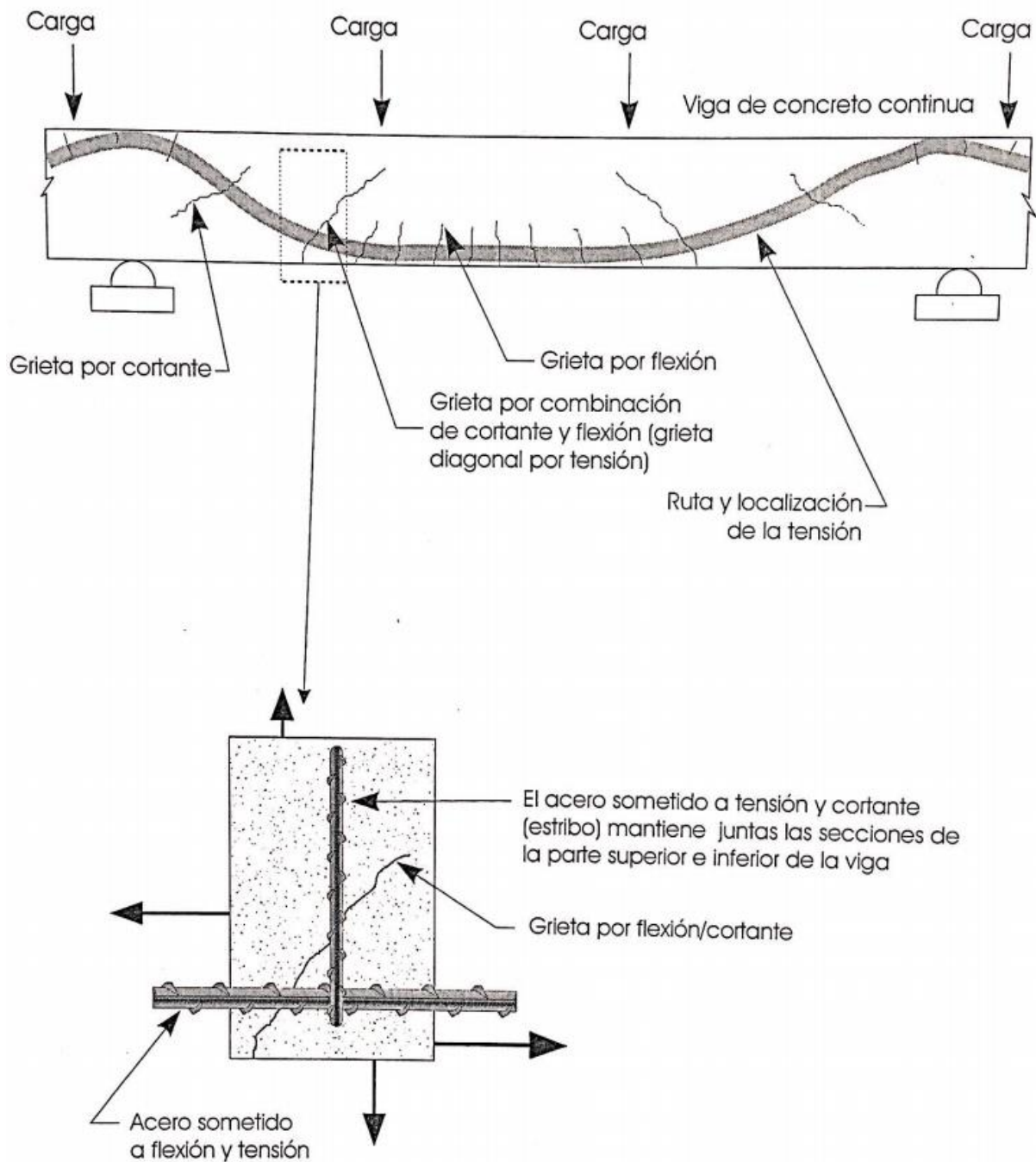


Gráfico 94 Modos de agrietamiento en tramos continuos. Fuente: (Emmons, 2005)

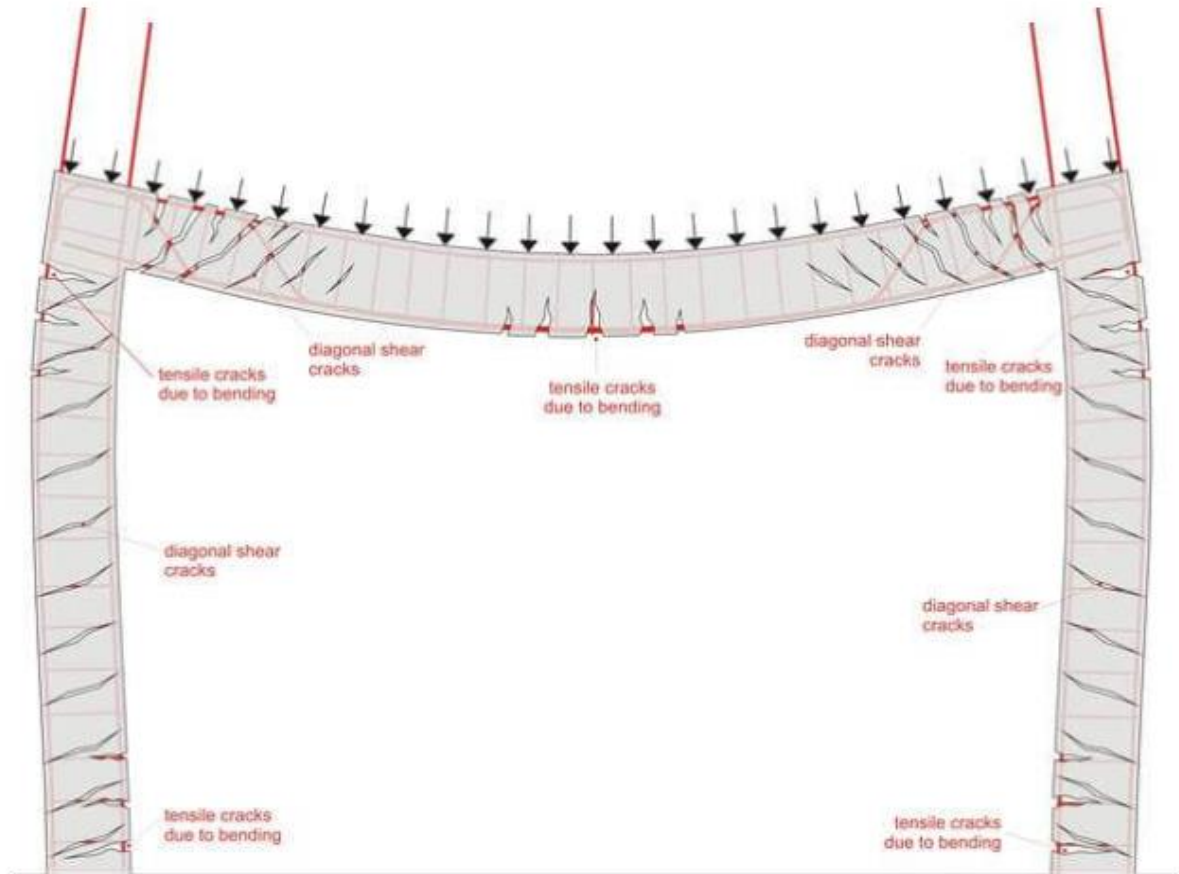


Gráfico 95 Agrietamientos por cargas. Fuente: (Engineering Discoveries, 2020)

2.6.3. Cortante de viga/losa a columna

2.6.3.1. Causas

Las conexiones entre vigas o losas y las columnas están sujetas a esfuerzos de cortante grandes. Las losas o vigas normalmente están expuestas a cargas verticales pero los esfuerzos cortantes también pueden ser producidos por movimientos horizontales; las fuerzas horizontales que producen dicho movimiento se dan por (Emmons, 2005):

- Cambios de volumen debido a cambios de temperatura.
- Movimientos causados por sismos.

Otros motivos son (Lopez Rodríguez et al., 2004):

- Agotamiento de la armadura transversal.
- Combinación de cortante y flexión.
- Fallo del anclaje de la armadura transversal.
- Falta de resistencia a compresión del hormigón.

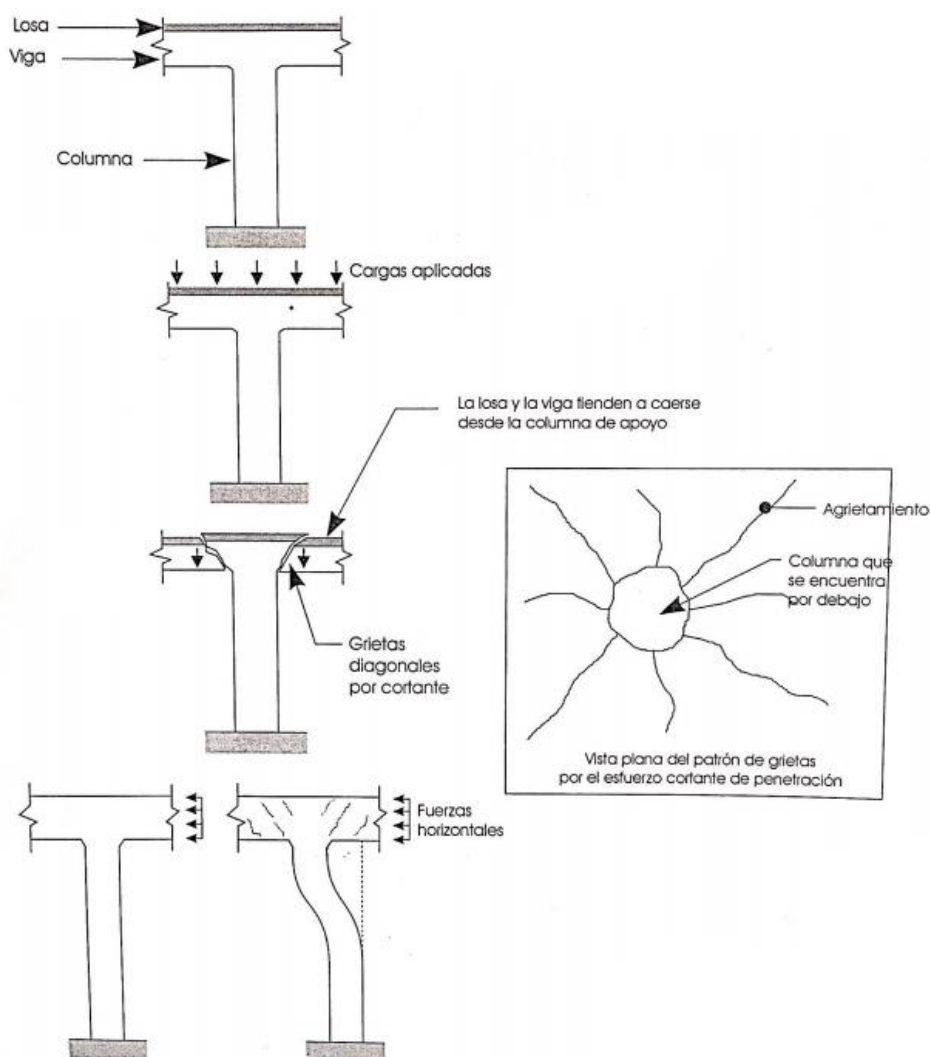


Gráfico 96 Cortante de losa/viga a columna. Fuente: (Emmons, 2005)

2.6.3.2. Características

Las principales características se dan en relación a las grietas (Lopez Rodríguez et al., 2004):

- Fisuras localizadas cerca de los apoyos (puntos máximos de cortante).
- Fisuras con dirección hacia el apoyo de 45° .
- Las fisuras no atraviesan el nodo.



2.6.3.3. Consecuencias

- Agrietamiento en la losa o viga, debido al esfuerzo excesivo.
- Pérdida de capacidad estructural.
- Exposición del acero que puede llevar a la corrosión.

2.6.3.4. Ejemplo



Gráfico 97 Ejemplo real de agrietamiento en conexiones columnas a vigas/losas. Fuente: (Generalitat Valenciana & Instituto Valenciano de la Edificación, 2014)

2.6.4. Voladizos

2.6.4.1. Causas

Este tipo de estructuras están soportadas solo de un extremo; en este punto se tiene un gran esfuerzo de tensión. El esfuerzo es soportado por las varillas de refuerzo que están colocadas en la parte superior del elemento. Entonces, la principal causa para que un voladizo falle o presente fisuras es la mala colocación del acero de refuerzo superior. (Emmons, 2005)

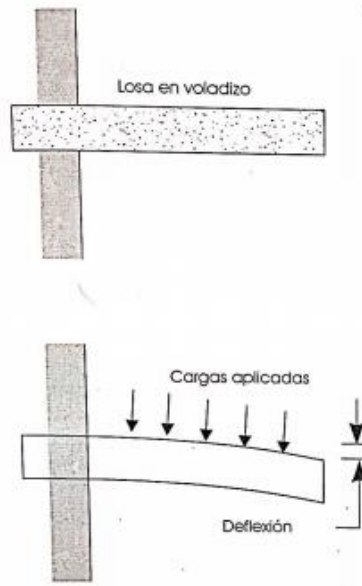


Gráfico 98 Cargas en losa en voladizo. Fuente: (Emmons, 2005)

2.6.4.2. Características

- Deflexiones en el elemento.
- Agrietamiento del concreto.

2.6.4.3. Consecuencias

- Falla por flexión, debido a la mala colocación del acero superior.
- Grietas de tensión por flexión.
- Posible corrosión del acero.
- Efecto bisagra.
- En ocasiones, falla completa del elemento.



2.6.4.4. Ejemplo

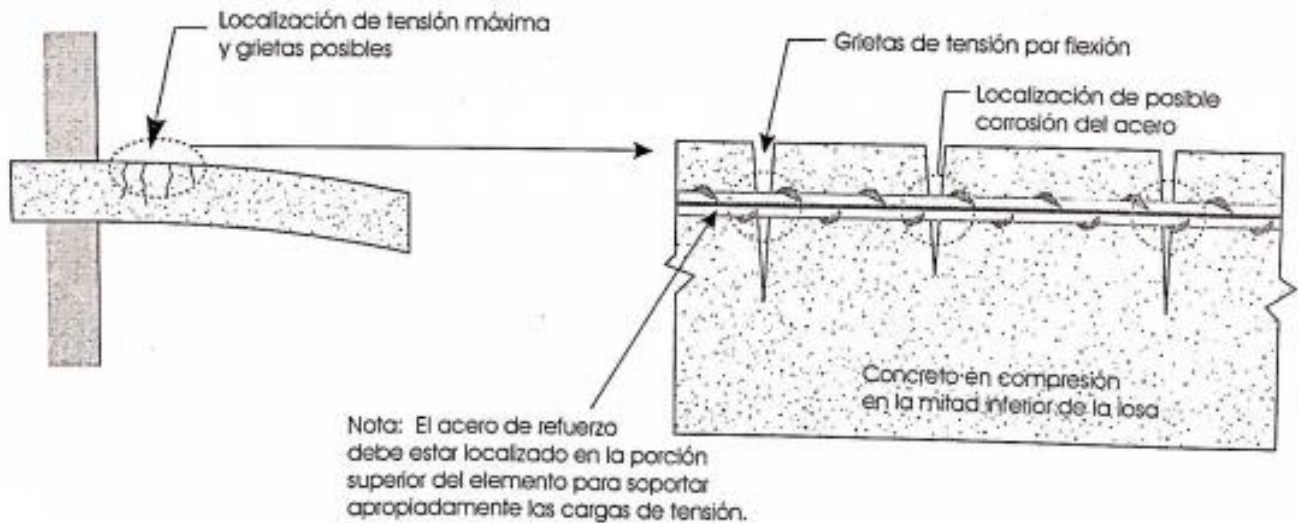


Gráfico 99 Ejemplo de agrietamiento en voladizo. Fuente: (Emmons, 2005)

2.6.5. Estructuras continuas

2.6.5.1. Causas

En contraste con los tramos simples, los tramos continuos transfieren las cargas a los tramos adyacentes. Las cargas que se aplican pueden ser estáticas o en dinámicas. Las cargas estáticas generan esfuerzos de tensión en la parte inferior del elemento, a la mitad del tramo en la parte superior; las cargas dinámicas cambian la distribución de esfuerzos en los tramos adyacentes provocando deflexiones inversas y vibraciones. (Emmons, 2005)

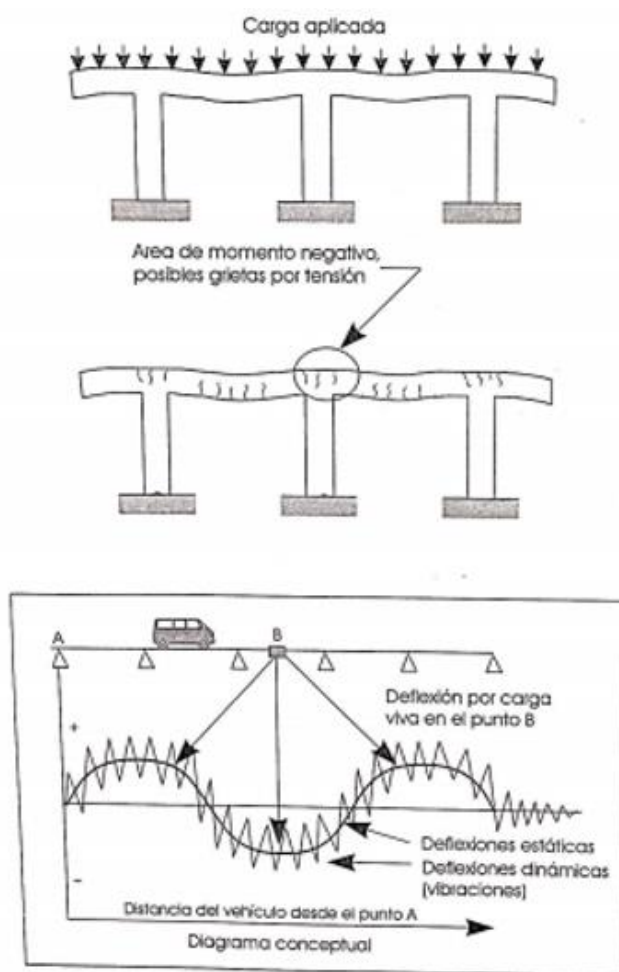


Gráfico 100 Estructuras continuas. Fuente: (Emmons, 2005)

2.6.5.2. Características

- Agrietamiento del concreto.
- Deflexiones del elemento.

2.6.5.3. Consecuencias

- Deflexiones estáticas o dinámicas.
- Aparición de grietas por tensión.
- Incrementa el ancho y profundidad de grietas existentes.
- Problemas de mantenimiento en los sistemas de juntas de conexión.
- Posible corrosión.
- Reducción de la capacidad estructural.



2.6.5.4. Ejemplo



Gráfico 101 Ejemplos reales de deflexiones en puente Hisgaura (Santander, Colombia) y agrietamiento en estructuras continuas.
Fuente: (Horse, 2017; Minuto 30 S.A.S, 2019)



2.6.6. Columnas

2.6.6.1. Compresión

2.6.6.1.1. Causas

Las columnas son elementos diseñados para soportar cargas verticales, al igual que cualquier elemento se estira cuando es sometido a tensión y se comprime cuando está sometido a compresión. Cuando una columna está sometida a compresión los miembros de la columna se acortan y se abultan, generando deformación vertical y horizontal respectivamente. Los acortamientos en las columnas se dan por tres componentes (Emmons, 2005):

- Acortamiento elástico, ocurre al momento que se aplican las cargas.
- Acortamiento por fluencia, ocurre a través del tiempo. Los factores que ayudan a que suceda es un esfuerzo constante y la pérdida de humedad.
- Contracción por secado, ocurre a lo largo del tiempo por la pérdida de humedad.

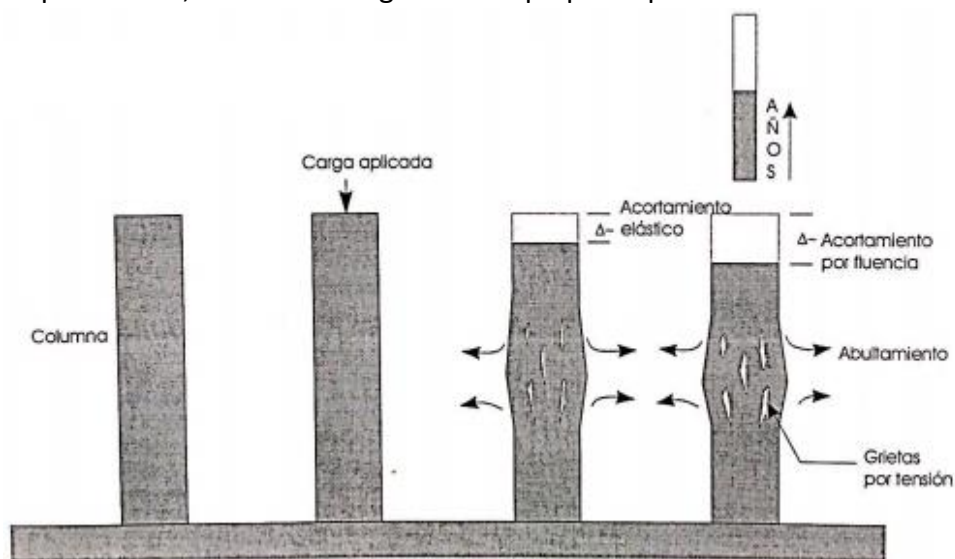


Gráfico 102 Compresión en columnas. Fuente: (Emmons, 2005)

2.6.6.1.2. Características

Es peligroso porque la estructura no da un aviso importante previo al fallo. Una vez detectado el problema es obligatorio el desalojo del edificio. (Lopez Rodríguez et al., 2004)

2.6.6.1.3. Consecuencias

- Acortamiento de la columna.
- Abultamiento de los miembros.
- Grietas por tensión.
- Desprendimiento del concreto.
- Probable colapso de la estructura.



2.6.6.1.4. Ejemplo



Gráfico 103 Ejemplo real de compresión en columnas. Fuente: (4geniecivil, 2012)

2.6.6.2. Flexión

2.6.6.2.1. Causas

Ocurre cuando existen excentricidades muy grandes ($>b/2$, donde b es el ancho de la columna). Esto puede causar dos problemas:

- Momento flector grande.
- Momento flector con una carga (flexocompresión).



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Generalmente, estos problemas se dan en las columnas de las esquinas o en las del último piso. (4geniecivil, 2012)

2.6.6.2.2. Características

- Fisuras perpendiculares al eje vertical de la columna. Las fisuras con un ancho mayor a 0.3 mm significan daños graves y por ende intervención inmediata.
- Las fisuras en la cara de compresión son de carácter grave, son finas y paralelas a la cara de la columna.
- Deformación de la columna.

2.6.6.2.3. Consecuencias

- La combinación de estas cargas puede provocar un pandeo progresivo de la columna.
- La deformación genera un aumento progresivo de la tensión hasta la rotura del elemento.
- Pérdida de la capacidad estructural.

2.6.6.2.4. Ejemplo



Gráfico 104 Ejemplo real de flexión en columnas. Fuente: (Obras por Expansión, 2017)

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **149** de **473**



2.6.6.3. Cortante

2.6.6.3.1. Causas

Es un tipo de fisuración muy raro, pero cuando se identifica es necesario la intervención inmediata. El fallo por cortante se da por un mal confinamiento del concreto, esto quiere decir que no se cumple con las separaciones máximas normalizadas para los estribos, y debido a la gran concentración de esfuerzos (carga axial, momento flector y fuerza cortante) en los extremos de las columnas. (Lopez Rodríguez et al., 2004; Murillo Jiménez, 2004)

2.6.6.3.2. Características

- Grietas inclinadas.

2.6.6.3.3. Consecuencias

- Pérdida de capacidad estructural.
- Posible colapso de la estructura.

2.6.6.3.4. Ejemplo



Gráfico 105 Ejemplo real de cortante en columnas. Fuente: (Obras por Expansión, 2017)



2.6.7. Bibliografía

- 4geniecivil. (2012). Lords of strategy in civil engineering. Recuperado de: <https://www.4geniecivil.com/2012/10/lords-of-strategy-in-civil-engineering.html>
- Emmons, P. (2005). Manual ilustrado de Reparación y Mantenimiento del concreto. In Análisis, estrategias y técnicas de reparación. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
- Engineering Discoveries. (2020). Structural Frame Behavior Beams, Columns and Slabs. Recuperado de: <https://engineeringdiscoveries.com/structural-frame-behaviour-beams-columns-and-slabs/>
- Generalitat Valenciana, & Instituto Valenciano de la Edificación. (2014). Fisuras inclinadas en vigas de hormigón. Recuperado de: http://xsapps-api.xtremesoft.net/media/ive/content/posts/renhata/consejos/fichas/CNS/vigas_hormigon_fisuras_inclinadas.pdf
- Horse. (2017). Crack repair: Quanzhou bay bridge. Recuperado de: https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fes.horseen.com%2Fueditor%2Fphp%2Fupload%2Fimage%2F20171020%2F1508488719888079.jpg&imgrefurl=https%3A%2F%2Fes.horseen.com%2Findex%2Fcustomer_case%2Fcontent%2Fid%2F30&tbnid=PQIH-tJuGmPz9M&vet=12ahUKewjlyoyB
- Lopez Rodríguez, F., Rodríguez Rodríguez, V., Santa Cruz Astorqui, J., Torreño Gomez, I., & Ubeda de Mingo, P. (2004). Manual de patología de la edificación Tomo 2 (Universidad Politécnica de Madrid (ed.)). Departamento de Tecnología de la Edificación. Recuperado de: http://www.asturcons.org/docsnormativa/5892_1523.pdf
- Minuto 30 S.A.S. (2019, March 7). Sociedad Colombiana de Ingenieros aconsejó al Inviás no recibir el puente Hisgaura por presentar fisuras. Recuperado de: <https://www.minuto30.com/nacional/sociedad-colombiana-de-ingenieros-aconsejo-al-invias-no-recibir-el-puente-hisgaura-por-presentar-fisuras/793714/>
- Murillo Jiménez, C. G. (2004). Analisis de las causas que dieron origen a los daños estructurales, en las edificaciones del Estado de Puebla, provocados por el sismo del 15 de junio de 1999 [Universidad de las Américas Puebla.]. Recuperado de: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/murillo_j_cg/capitulo4.pdf
- Obras por Expansión. (2017). Fallas estructurales en columnas que debes identificar. Recuperado de: <https://obras.expansion.mx/construccion/2017/09/21/fallas-estructurales-en-columnas-que-debes-identificar>



UNIVERSIDAD DE CUENCA

2.7. PATOLOGÍAS POR ACCIÓN SÍSMICA

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página 152 de 473



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Contenido

2.7.	PATOLOGÍAS POR ACCIÓN SÍSMICA	152
2.7.1.	Introducción	154
2.7.2.	Golpeteo	157
2.7.3.	Irregularidad en planta.....	158
2.7.4.	Irregularidad en elevación.....	163
2.7.5.	Sobrepeso	166
2.7.6.	Modificaciones	167
2.7.7.	Bibliografía	169

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **153** de **473**



2.7.1. Introducción

Las estructuras que estén sometidas a vibraciones producidas por sismos tendrán una variedad de daños; estos daños dependen de varios factores como: la capacidad de absorción de energía que tenga la estructura, el período del sismo, la frecuencia, el diseño del edificio, la ejecución de la construcción, los materiales, el uso de la estructura y la zona en que se encuentre. El Ecuador está dividido en seis zonas sísmicas, cada una con un valor diferente del factor Z. Este factor representa la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño y es expresada como fracción de la aceleración de la gravedad. (NEC-SE-DS, 2014)

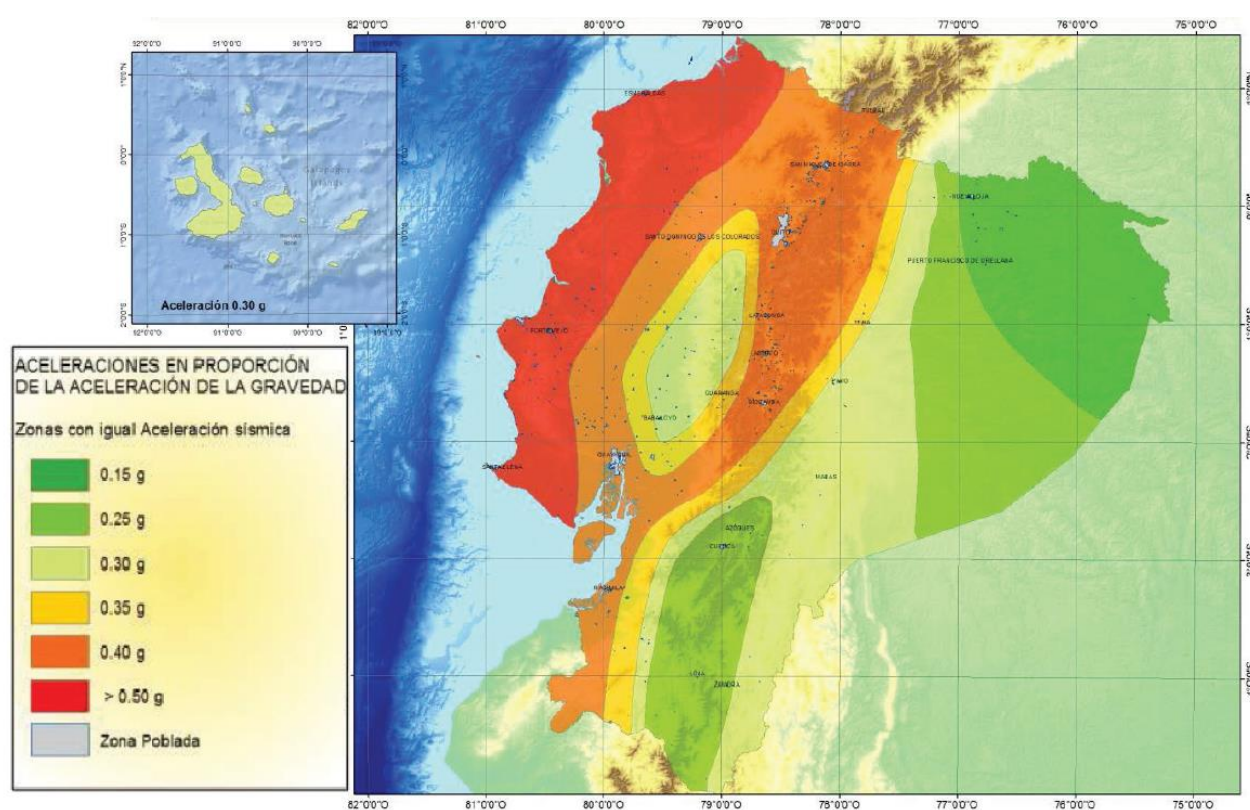


Gráfico 106 Zonas sísmicas de Ecuador. Fuente: (NEC-SE-DS, 2014)

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0,15	0,25	0,30	0,35	0,4	≥0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy Alta

Tabla 10 Valores del factor Z en función de la zona sísmica. Fuente: (NEC-SE-DS, 2014)

Para un correcto diseño es importante la correcta generación del espectro de respuesta (sección 3.3 de la normativa NEC-SE-DS), el cual está en función de coeficientes de perfil de suelo que dependen del tipo de suelo y de la zona sísmica (sección 3.2.2. de la normativa NEC-SE-DS).



En el Gráfico 107 se muestra los efectos, grietas y fisuras, que puede causar un sismo en los elementos constituyentes de un pórtico de hormigón armado.

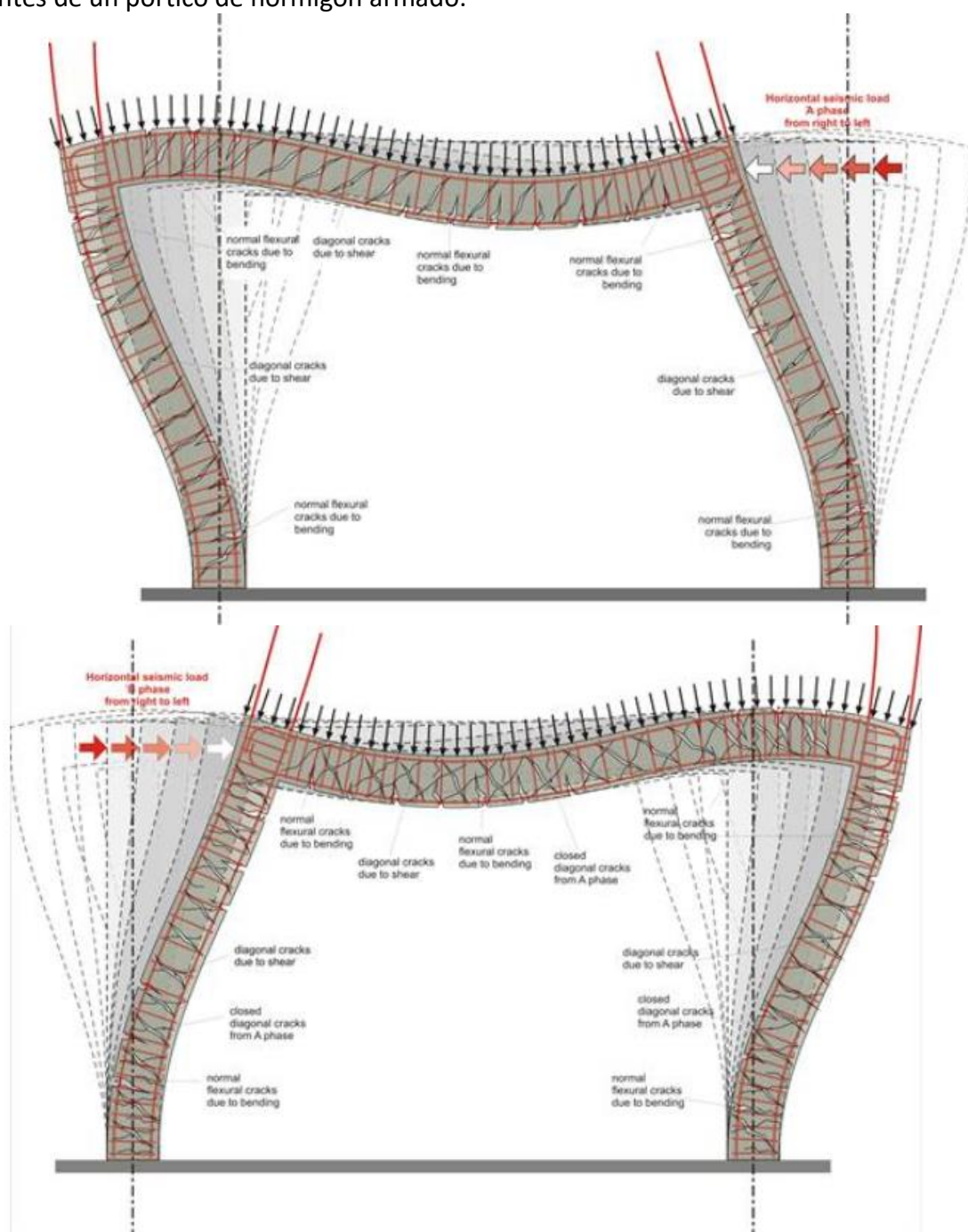


Gráfico 107 Efectos de un sismo en pórtico. Fuente: (Engineering Discoveries, 2020)



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Para el diseño y construcción de edificaciones se deben cumplir los requisitos establecidos por la normativa NEC-SE-DS y por el ACI 318, tomando en consideración que la estructura debe ser, en lo posible, regular (Las configuraciones estructurales no recomendadas se indican en la sección 2.1.11). En caso de tener irregularidades, la estructura debe diseñarse para resistir fuerzas sísmicas mayores. Existen patologías estructurales que hacen a la estructura actuar de manera diferente, causando incertidumbre respecto a su comportamiento; las principales acciones y patologías que pueden afectar a la edificación durante un sismo se presentan en esta sección. (Buendía Sánchez & Reinoso Angulo, 2019)

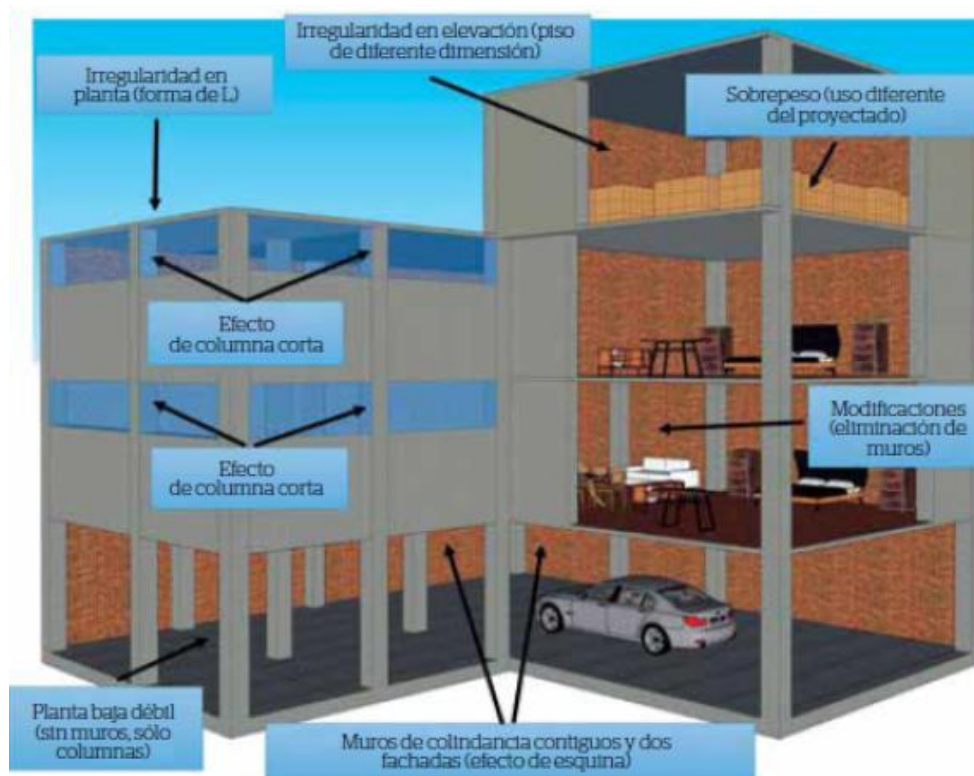


Gráfico 108 Patologías en un edificio. Fuente: (Buendía Sánchez & Reinoso Angulo, 2019)

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **156** de **473**



2.7.2. Golpeteo

2.7.2.1. Causas

Esta patología se da cuando la separación entre edificaciones no tiene un tamaño suficiente. Cuando estas estructuras se ven sometidas a acción sísmica chocan entre sí, generando grandes fuerzas cortantes en las columnas golpeadas, causándose daño una a la otra (Amón Valle, 2016; Buendía Sánchez & Reinoso Angulo, 2019). La normativa NEC-SE-DS en la sección 5.1. plantea recomendaciones de separación entre estructuras en función de las siguientes situaciones (NEC-SE-DS, 2014):

- Cuando existe una estructura colindante con una separación con respecto al lindero del terreno y las cotas de los entrepisos, de la estructura existente y la estructura a diseñarse, coinciden.
- Cuando existe una estructura colindante con una separación con respecto al lindero del terreno y las cotas de los entrepisos, de la estructura existente y la estructura a diseñarse, no coinciden.
- Cuando existe una estructura colindante en la cual no existe una separación con respecto al lindero del terreno y las cotas de los entrepisos, de la estructura existente y la estructura a diseñarse, coinciden.
- Cuando existe una estructura colindante en la cual no existe una separación con respecto al lindero del terreno y las cotas de los entrepisos, de la estructura existente y la estructura a diseñarse, no coinciden.
- Cuando no existan construcciones en el terreno colindante y el reglamento permita construir estructuras adosadas.

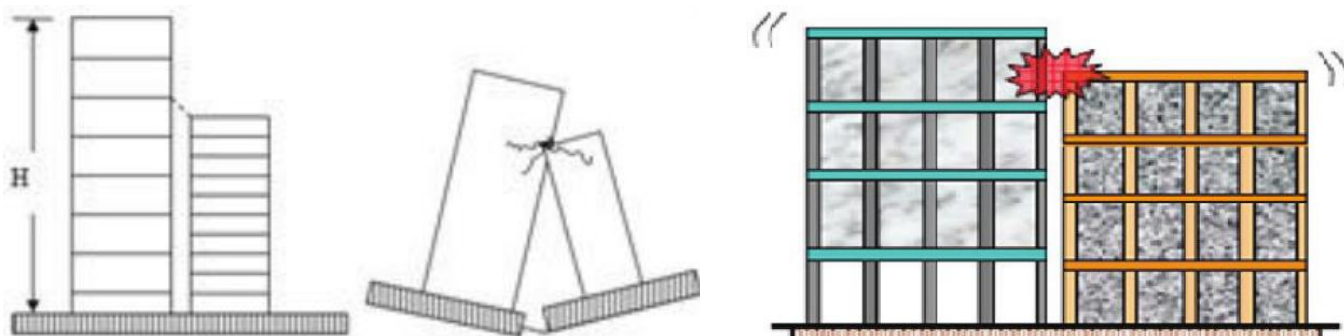


Gráfico 109 Golpeteo entre edificaciones. Fuente: (Amón Valle, 2016)

2.7.2.2. Características

- Daños causados por impactos entre estructuras colindantes.
- Fisuras por corte.
- Desprendimiento del hormigón.



2.7.2.3. Consecuencias

- Resonancia de la estructura.
- Fuerzas cortantes perpendiculares a la cara de las columnas.
- Pérdida de capacidad estructural.

2.7.2.4. Ejemplo



Gráfico 110 Ejemplo real de golpeteo. Fuente: (L. Suárez, 2020)

2.7.3. Irregularidad en planta

Las irregularidades son los errores que generalmente causan más daños en las construcciones debido a que no son correctamente analizadas por el diseñador, ingeniero estructural o son mal ejecutadas. Cuando existen irregularidades se usan coeficientes de configuración estructural (ϕ_{pi}) para penalizar el diseño y dar mayor resistencia a la estructura, con esto no se evita un comportamiento sísmico deficiente; por este motivo es importante evitar las irregularidades. (Gonzalez Herrera & Gómez Soberón, 2009; NEC-SE-DS, 2014)



2.7.3.1. Causas

Existen irregularidades que se presentan con mayor frecuencia (NEC-SE-DS, 2014):

- **Irregularidad torsional**

Este caso se da cuando la deriva máxima en un extremo de la estructura es mayor que 1.2 veces la deriva promedio de los extremos con respecto al mismo eje de referencia.

$$\Delta > 1.2 \frac{(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$$

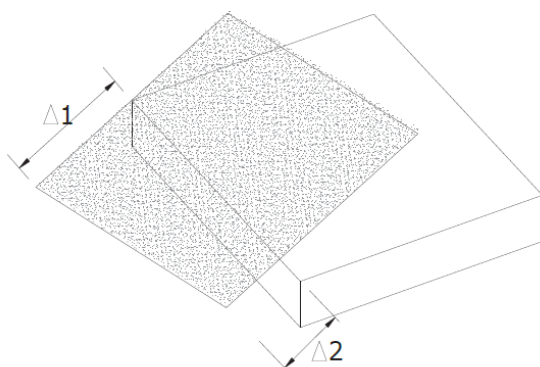


Gráfico 111 Irregularidad torsional. Fuente: (NEC-SE-DS, 2014)

En caso de existir irregularidad torsional, $\phi_{pi}=0.9$

- **Retrocesos excesivos en las esquinas**

Una estructura es considerada irregular por retrocesos excesivos en las esquinas cuando las proyecciones de la estructura son mayores al 15% de la dimensión del lado de la planta en análisis.

$$A > 0.15B \text{ y } C > 0.15D$$

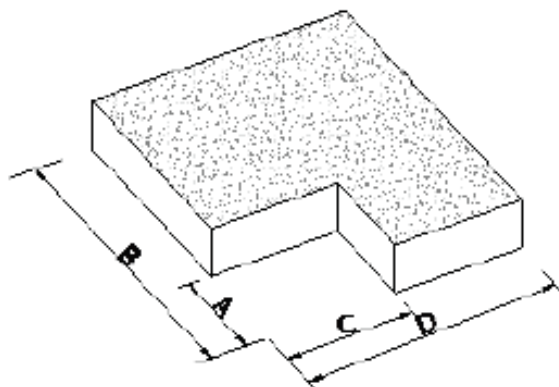


Gráfico 112 Retrocesos excesivos en las esquinas. Fuente: (NEC-SE-DS, 2014)

En caso de existir irregularidad por retrocesos excesivos en las esquinas, $\phi_{pi}=0.9$



- **Discontinuidades en el sistema de piso**

Ocurre cuando el sistema de piso tiene discontinuidades considerables o variaciones en su rigidez. Las áreas de los huecos, aberturas o entrantes deberán ser mayores al 50% del área total del piso.

$$[Cx D + Cx E] > 0.5 A x B$$

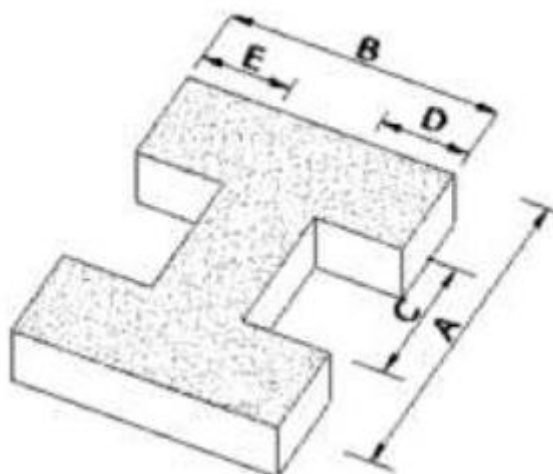


Gráfico 113 Discontinuidades en el sistema de piso, entrantes. Fuente: (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda & Secretaría de Gestión de Riesgos, 2016)

$$Cx D > 0.5 A x B$$

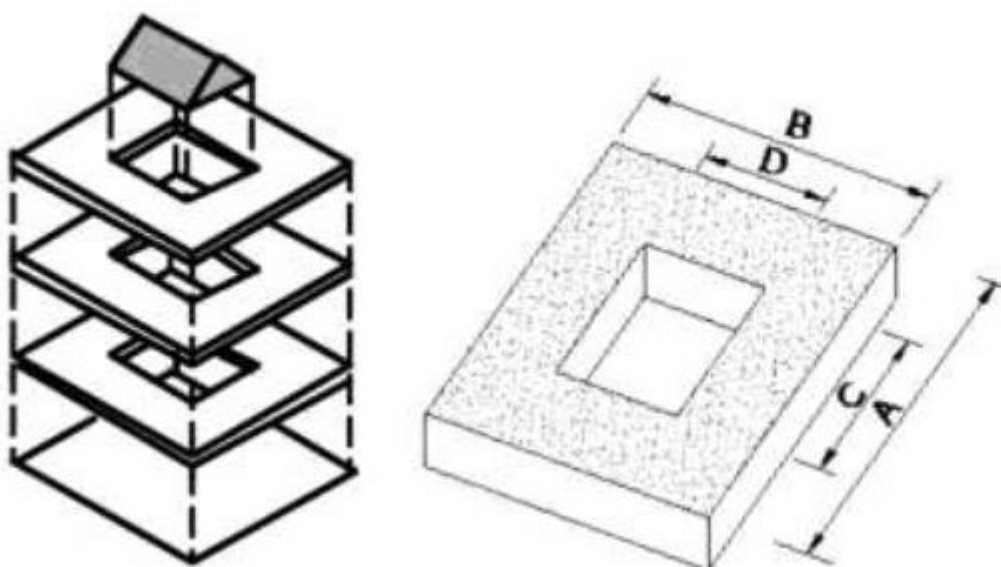


Gráfico 114 Discontinuidades en el sistema de piso, huecos. Fuente: (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda & Secretaría de Gestión de Riesgos, 2016)

En caso de existir irregularidad por discontinuidades en el sistema de piso, $\phi_{pi}=0.9$

Vigencia desde:

Marzo-2021



- **Ejes estructurales no paralelos**

Se considera irregular a la estructura cuando los ejes estructurales no son paralelos o simétricos con respecto a los ejes principales de la estructura.

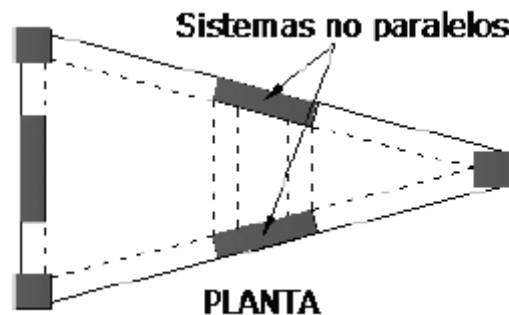


Gráfico 115 Ejes estructurales no paralelos. Fuente: (NEC-SE-DS, 2014)

En caso de existir irregularidad por discontinuidades en el sistema de piso, $\phi_{pi}=0.9$

Si la estructura presenta más de una irregularidad se multiplicarán los coeficientes de configuración estructural de cada una. Por ejemplo, si existen dos irregularidades se penalizará con un coeficiente de 0.81.

2.7.3.2. Características

- Desplazamiento de la estructura.
- Aparición de grietas.
- Desprendimiento del hormigón.

2.7.3.3. Consecuencias

- Pérdida de adherencia de los pilotes con el terreno.
- Vuelco de la edificación.
- Reducción de la capacidad estructural.
- Posible colapso de la estructura.
- Aumenta las fuerzas axiales en las columnas y los momentos negativos, positivos y cortantes en las vigas.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

2.7.3.4. Ejemplo



Gráfico 116 Ejemplo real de retrocesos excesivos en las esquinas. Fuente: (Buendía Sánchez & Reinoso Angulo, 2019)



Gráfico 117 Ejemplo real de discontinuidades en el sistema de piso. Fuente: (Cenais, 2020)

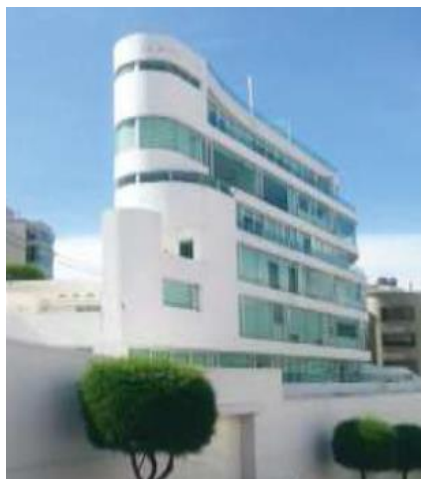


Gráfico 118 Ejemplo real de ejes estructurales no paralelos. Fuente: (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda & Secretaría de Gestión de Riesgos, 2016)

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **162** de **473**



2.7.4. Irregularidad en elevación

Al igual que en las irregularidades en planta, cada irregularidad es penalizada con un coeficiente de configuración estructural (ϕ_{Ei}).

2.7.4.1. Causas

Las principales irregularidades en elevación son (NEC-SE-DS, 2014):

- **Piso flexible**

Se presenta cuando la rigidez lateral de un piso (K) es menor que el 70% de la rigidez lateral del piso superior o también se presenta cuando la rigidez lateral de un piso es menor que el 80% de la rigidez lateral promedio de los tres pisos superiores.

$$K_c < 0.7 K_D$$
$$\text{ó}$$
$$K_c < 0.8 \frac{(K_D + K_E + K_F)}{3}$$

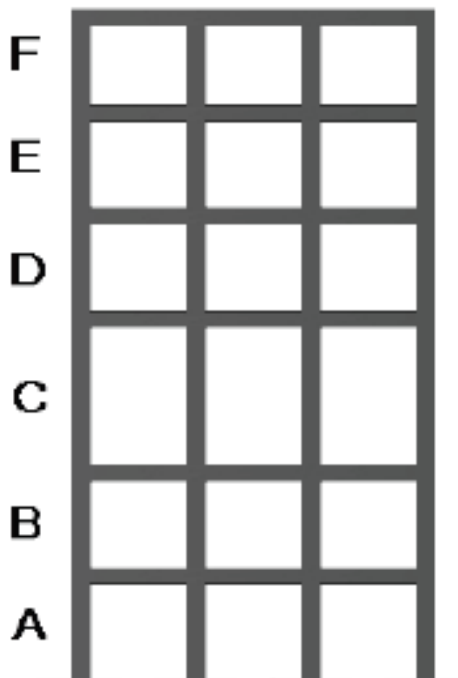


Gráfico 119 Piso flexible. Fuente: (NEC-SE-DS, 2014)

En caso de existir irregularidad por piso flexible, $\phi_{Ei}=0.9$



- **Distribución de masa**

La irregularidad por distribución de masa se da cuando la masa de un piso es mayor que 1.5 veces la masa de uno de los pisos adyacentes. En este análisis no se debe considerar la cubierta.

$$m_D > 1.5 m_E$$

ó

$$m_D > 1.5 m_C$$

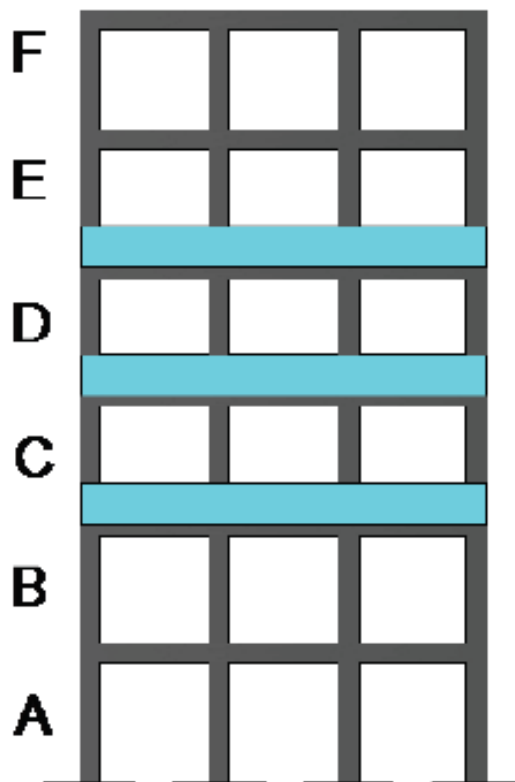


Gráfico 120 Distribución de masa. Fuente: (NEC-SE-DS, 2014)

En caso de existir irregularidad por distribución de masa, $\phi_{Ei}=0.9$

- **Irregularidad geométrica**

Se considera que existe irregularidad geométrica cuando la dimensión de cualquier piso es mayor que 1.3 veces la misma dimensión de un piso adyacente.

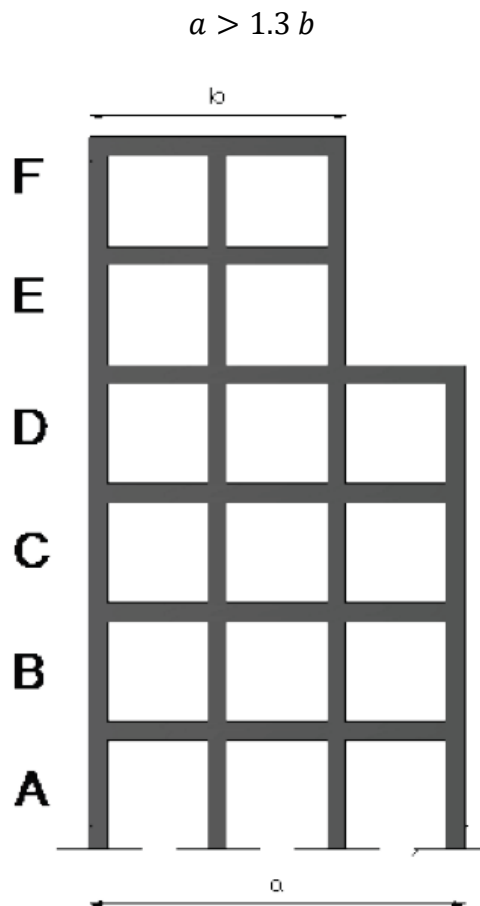


Gráfico 121 Irregularidad geométrica. Fuente: (NEC-SE-DS, 2014)

En caso de existir irregularidad por irregularidad geométrica, $\phi_{EI}=0.9$

2.7.4.2. Características

- Desplazamiento de la estructura.
- Aparición de grietas.
- Desprendimiento del hormigón.

2.7.4.3. Consecuencias

- Reducción de la capacidad estructural.
- Posible colapso de la estructura.
- Aumenta las fuerzas axiales en las columnas y los momentos negativos, positivos y cortantes en las vigas.



2.7.4.4. Ejemplo



Gráfico 122 Ejemplo real de irregularidad geométrica, Torre de Rosaleda. Fuente: (Viñau Ena, 2016)

2.7.5. Sobre peso

2.7.5.1. Causas

El diseño de una estructura se basa en el uso que se va a dar a la misma, con esto se calculan el tamaño y resistencia de los elementos estructurales. Cuando la estructura es usada para un objetivo distinto, los elementos no están capacitados para soportar cargas mayores y pueden llegar a fallar durante un sismo (Buendía Sánchez & Reinoso Angulo, 2019). Las cargas para diseño en función del uso de la estructura se dan en la sección 4.2. de la norma NEC-SE-CG.

2.7.5.2. Características

- Hundimiento de pisos en losas
- Aparición de grietas en las paredes.
- Desprendimiento del hormigón.

2.7.5.3. Consecuencias

- Colapso de elementos estructurales.
- Pandeo de columnas.
- Flexión peligrosa en vigas.
- Posible colapso de la estructura.
- Grietas por tensión en vigas.



2.7.5.4. Ejemplo



Gráfico 123 Ejemplo real de colapso por sobrepeso, edificio Lian Yak por mala asignación de cargas en el diseño estructural (1986).
Fuente: (Benavides, 2016)

2.7.6. Modificaciones

2.7.6.1. Causas

El retiro o modificación de elementos estructurales, sin un estudio estructural previo, trae consigo efectos negativos en la estructura. El comportamiento esperado de la estructura ante actividad sísmica, en el diseño original, es completamente distinto una vez realizadas las modificaciones. (Buendía Sánchez & Reinoso Angulo, 2019)

2.7.6.2. Características

- Hundimiento en losas.
- Desprendimiento del hormigón.
- Agrietamiento en elementos estructurales.

2.7.6.3. Consecuencias

- Colapso de elementos estructurales.
- Cargas excesivas en elementos que no fueron diseñados para soportar dichas cargas.
- Posible colapso de la estructura.
- Grietas por tensión.



2.7.6.4. Ejemplo



Gráfico 124 Ejemplo real de colapso por modificaciones, salón de recepciones en Israel donde se quitaron columnas para aumentar espacio (2001). Fuente: (Kalpana, 2020)



2.7.7. Bibliografía

- ACI 318. (2014). Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary. American Concrete Institute.
- Amón Valle, M. P. (2016). Metodología de reparación de fallas constructivas evidenciadas en Manabí tras terremoto Pedernales del 16 de abril de 2016 con intensidad 7.8 en la escala de Richter [Universidad de Guayaquil]. Recuperado de: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/16418>
- Benavides, L. (2016). Colapso del Hotel New World. Recuperado de: <https://ic00105.forosactivos.net/t59-colapso-del-hotel-new-world>
- Buendía Sánchez, L. M., & Reinoso Angulo, E. (2019). Patologías estructurales. Revista Mexicana de La Construcción. Recuperado de: <https://www.cmic.org/patologias-estructurales/>
- Cenais. (2020). Las edificaciones y los terremotos. Parte I. Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas. Recuperado de: <http://www.cenais.cu/cenais/index.php/2020/05/31/las-edificaciones-y-los-terremotos-parte-i/>
- Engineering Discoveries. (2020). Structural Frame Behavior Beams, Columns and Slabs. Recuperado de: <https://engineeringdiscoveries.com/structural-frame-behaviour-beams-columns-and-slabs/>
- Gonzalez Herrera, R., & Gómez Soberón, M. C. (2009). Efectos de la irregularidad en planta por forma arquitectónica. Conference: XVII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/261642084>
- Kalpana, K. (2020). Versailles wedding hall disaster. Recuperado de: <https://alchetron.com/Versailles-wedding-hall-disaster>
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, & Secretaría de Gestión de Riesgos. (2016). Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras, de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015. Guía de Diseño 5. Recuperado de: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/10/GUIA-5-EVALUACION-Y-REHABILITACION1.pdf>
- NEC-SE-CG. (2014). Cargas (No Sísmicas). In Norma Ecuatoriana de la Construcción.
- NEC-SE-DS. (2014). Peligro Sísmico Diseño Sismo Resistente.
- Suárez, L. (2020). El problema del golpeteo entre dos estructuras. Recuperado de: <https://www.uprm.edu/riseup/wp-content/uploads/sites/223/2020/02/Golpeteo.pdf>
- Viñau Ena, N. (2016). ¿Qué opinas? Estos son algunos de los edificios más feos de España. Recuperado de: <https://decoracion.tendencias.com/otros-espacios/que-opinas-estos-son-algunos-de-los-edificios-mas-feos-de-espana>



UNIVERSIDAD DE CUENCA

2.8. OTRAS PATOLOGÍAS

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página 170 de 473



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Contenido

2.8.	OTRAS PATOLOGÍAS.....	170
2.8.1.	Asentamientos diferenciales	172
2.8.2.	Suelos expansivos	175
2.8.3.	Empuje del terreno	176
2.8.4.	Materiales constituyentes.....	179
2.8.5.	Bibliografía	181

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **171** de **473**



2.8.1. Asentamientos diferenciales

Se definen como la diferencia de asentamiento entre dos puntos de una cimentación (Gráfico 125). Los asentamientos diferenciales, son patologías muy frecuentes provocadas por desplazamientos verticales relativos o movimientos de diferentes partes o zonas de la estructura que generan fisuración y daños visibles a las estructuras de hormigón armado. (Ipiales, 2015)

2.8.1.1. Causas

Son provocados por un desequilibrio de esfuerzos dentro del suelo, estos causan movimientos verticales de las diferentes zonas de la estructura lo que conlleva a asentamientos irregulares de la misma. (Ipiales, 2015)

Otras razones por las que se pueden presentar son: (Ingeniero de caminos, 2020; Square it inmobiliaria, 2014)

- Variación considerable de cargas entre apoyos cercanos.
- Heterogeneidades del terreno de cimentación.
- Asentamientos por mala calidad de construcción (Falta de limpieza de las excavaciones).
- Fallo del suelo por cizallamiento.
- Suelos de relleno compactados de forma inadecuada.

Hay ocasiones en que la capacidad portante del terreno no es suficiente, o los asentamientos previstos son excesivos, en estos casos se debe recurrir a una cimentación profunda, un mejoramiento del terreno u otra solución que asegure la estabilidad frente al hundimiento (Ingeniero de caminos, 2020).

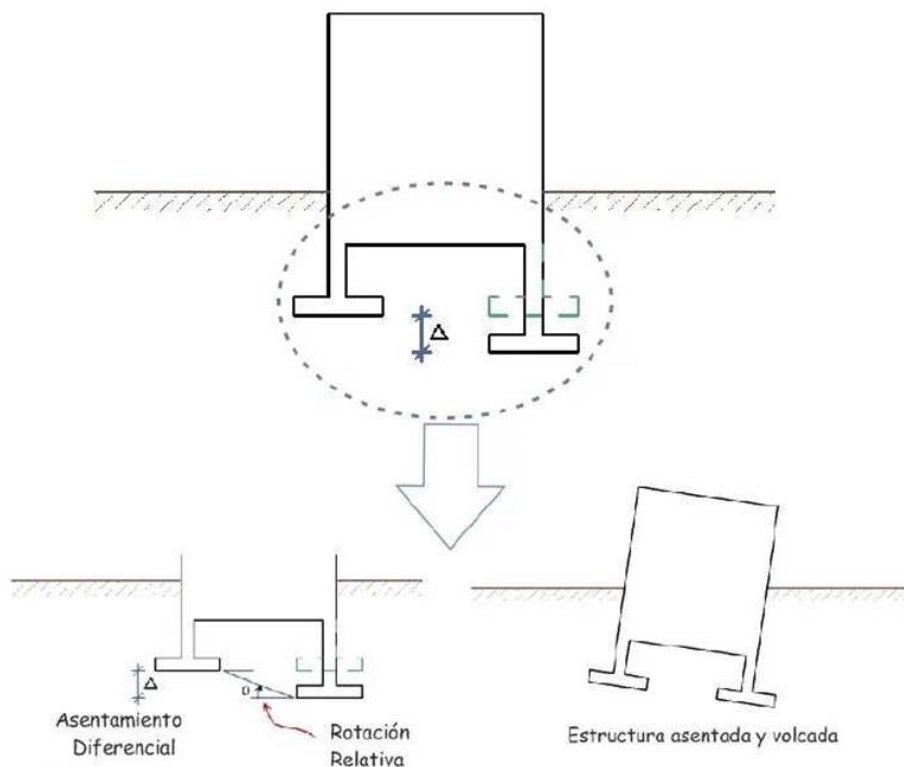


Gráfico 125 Representación de asentamiento diferencial. Fuente: (Gamboa, 2020)



2.8.1.1.1. Asentamientos tolerables

En la sección 5.20. del libro de “Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones” del Autor Braja M. Das se recomiendan valores límites permisibles (Tabla 11) para los asentamientos.

Asentamiento máximo (S_{tmax})	
En arena	32 mm
En arcilla	45 mm
Asentamiento diferencial máximo (ΔS_{tmax})	
Cimentaciones aisladas en arena	51 mm
Cimentaciones aisladas en arcilla	76 mm
Losas en arena	51 – 76 mm
Losas en arcilla	76 - 127 mm
Distorsión angular máxima	1/300

Tabla 11 Asentamientos máximos. Fuente: (Das, 2012)

2.8.1.2. Características

- Estructuras asentadas o volcadas.
- Diferentes tipos de grietas en losas de cimentación (Gráfico 126).
- Fisuración de muros de mampostería.
- Grietas en muros de mampostería.

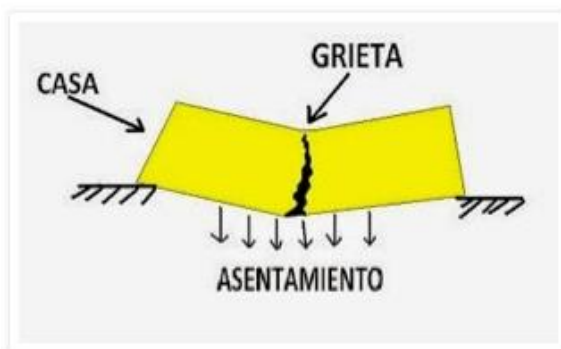
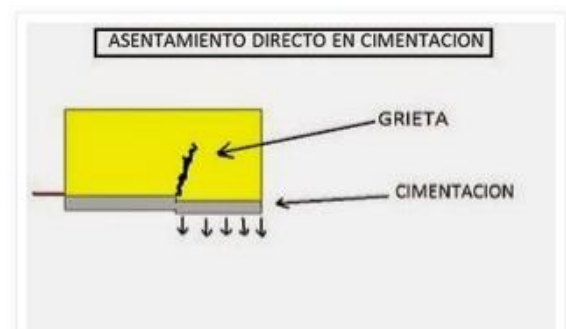
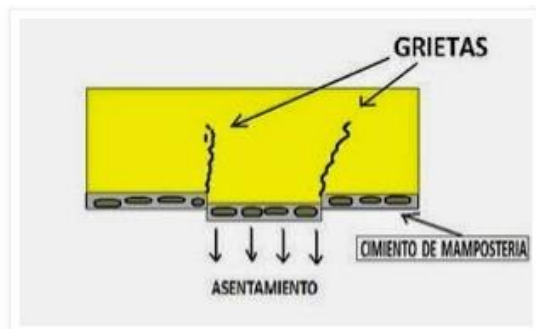


Gráfico 126 Tipos de grietas provocadas por asentamientos. Fuente: (Square it inmobiliaria, 2014)



2.8.1.3. Consecuencias

Si los asentamientos son excesivos, por encima del rango tolerable, pueden producir (Ingeniero de caminos, 2020):

- Pérdida de funcionalidad estructural.
- Hundimientos.
- Colapso de la estructura.
- Otras patologías.

2.8.1.4. Ejemplo



Gráfico 127 Ejemplo real de estructura con asentamiento diferencial excesivo. Fuente: (Ingeniero de caminos, 2020)



2.8.2. Suelos expansivos

2.8.2.1. Causas

El principal ejemplo crítico en esta sección son los suelos constituidos por arcillas expansivas. Las arcillas expansivas sufren variaciones volumétricas por cambios en su contenido de humedad. Normalmente las cargas transmitidas al terreno de los muros portantes de una casa de dos pisos son de alrededor de 2 kg/cm^2 , cuando las arcillas ganan humedad empujan hacia la superficie generando presiones de hasta 4 kg/cm^2 , por lo tanto, el empuje del suelo hacia arriba es mayor; si las cimentaciones no son capaces de resistir estas cargas sin deformarse, se producen daños importantes en muros y otros elementos constituyentes de la edificación. (Square it inmobiliaria, 2014)

Las arcillas más susceptibles de sufrir hinchamiento o expansividad son el grupo de las esmectitas; dentro de este grupo se tiene a las montmorillonitas, nontronitas y saponitas. El origen de los problemas por arcillas expansivas dependen de 3 factores importantes: (Concreto online, 2018)

- La naturaleza geológica y geotécnica del terreno (El contenido de finos del suelo para su caracterización).
- El grado de expansividad.
- Cambios de humedad: Aparte de la humedad natural del terreno, puede también ser provocada por factores externos como rotura de tuberías de agua potable, de desagüe, zonas de riego abundante entre otros.

2.8.2.2. Características

- Presencia de asentamientos diferenciales.
- Grietas o fisuras verticales (Gráfico 128) e inclinadas en ambos sentidos.

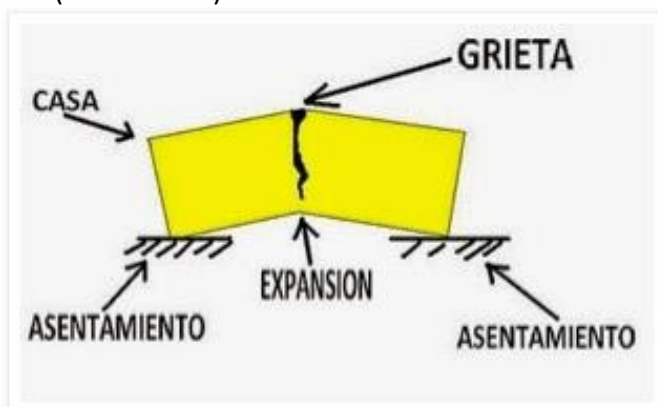


Gráfico 128 Representación de grieta vertical por expansión del suelo. Fuente: (Square it inmobiliaria, 2014)

2.8.2.3. Consecuencias

- Fisuración o rotura de elementos estructurales.
- Daños y grietas en fachadas o en muros de mampostería estructurales y no estructurales.
- Despegue de cimentación en zapatas aisladas y/o corridas
- Grietas de flexión y distorsiones en losas.
- Hundimientos.



2.8.2.4. Ejemplo



Gráfico 129 Ejemplo real de grieta por expansión en la mitad de la casa y grieta diagonal por hundimiento diferencial en la esquina. Fuente: (Solijection, 2014)

2.8.3. Empuje del terreno

Los muros de contención son obras que se colocan junto a las edificaciones que tienen como principal objetivo la contención de masas de terreno. El empuje del terreno es crítico cuando afecta a los muros de contención condicionando su función principal, afectando a las obras civiles anexas. (Arancibia, 2009; Silva, 2020)

2.8.3.1. Causas

La principal causa que afecta a los muros de contención es la resultante de las fuerzas ejercida por el terreno sobre estos. La fuerza está en función de (Arancibia, 2009):

- Densidad, mientras más alta sea la densidad el empuje del suelo es mayor.
- Ángulo de rozamiento interno del suelo, mientras más bajo es el ángulo de rozamiento el empuje del suelo es mayor.
- Sobrecarga, mientras mayor sea la sobrecarga el empuje del suelo subirá.
- Nivel freático, mientras mayor es el nivel freático la densidad y el empuje disminuyen. En estos casos se debe considerar el empuje del agua.

Otras causas que afectan a los muros de contención son (Arancibia, 2009; Silva, 2020)

- Mal dimensionamiento del espesor del muro, debido a un mal cálculo de la fuerza resultante.
- Insuficiente profundidad de la cimentación del muro.
- Incorrecto uso de factores de seguridad.
- Cuantías bajas en los muros.

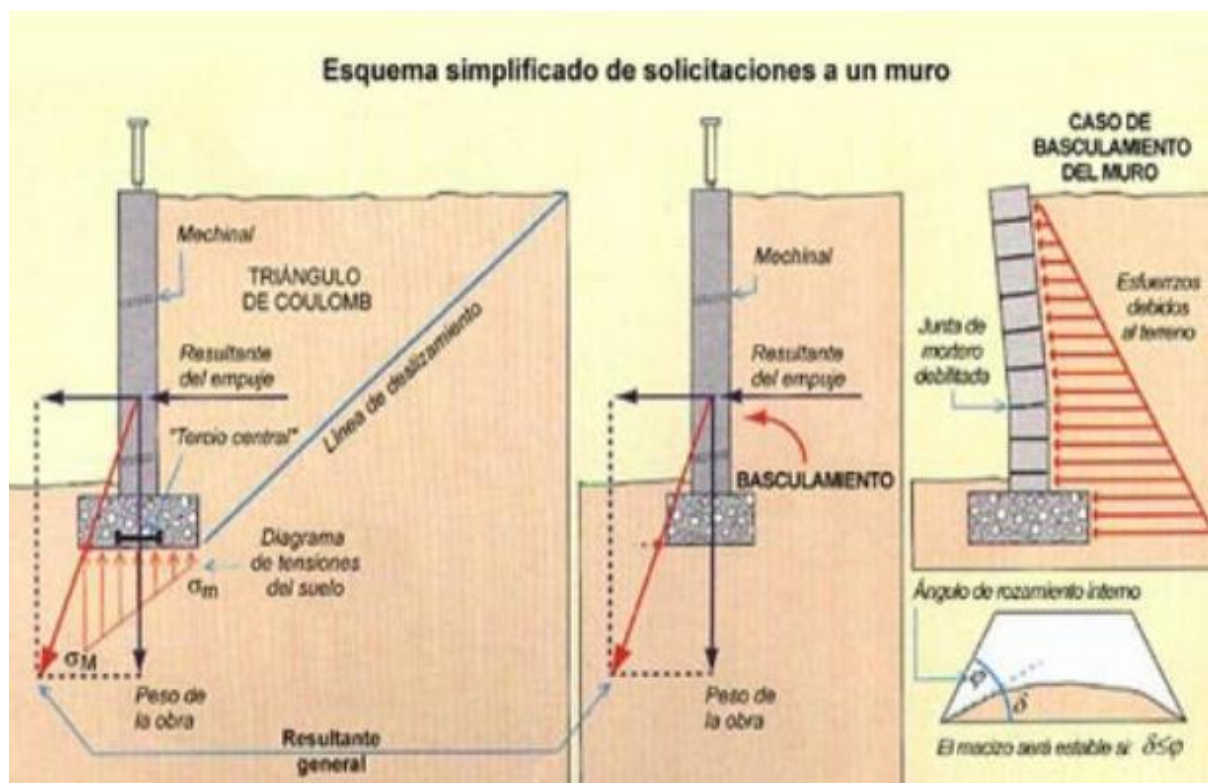


Gráfico 130 Fuerza resultante que debe soportar un muro de carga. Fuente: (Arancibia, 2009)

2.8.3.2. Características

- Fisuras o grietas en el muro.
- Deformaciones en el plano del muro.
- Movimiento del muro por incrementos en la sobrecarga.
- Rotura del muro.

2.8.3.3. Consecuencias

Las principales consecuencias son (Silva, 2020):

- Vuelco de una parte del muro.
- Hundimiento del muro.
- Deslizamiento del terreno.
- Giro excesivo del muro.
- Posible caída del conjunto de todo el muro.
- Rotura causada por flexión, por esfuerzo cortante o por fallo de traslazo.



2.8.3.4. Ejemplo



Gráfico 131 Ejemplo real de agrietamiento y deslizamiento en muros de contención. Fuente: (Pérez Valcárcel, 2008; Silva, 2020)



2.8.4. Materiales constituyentes

En esta sección se tratan los problemas que pueden causar los elementos que componen al hormigón; como el cemento, el agua, los áridos y los aditivos. Las principales causas, características y consecuencias se indican a continuación (Monroy, 2007; Porto Quintián, 2005):

2.8.4.1. Causas

2.8.4.1.1. Cemento

- Falso fraguado, es un endurecimiento rápido y anormal de la pasta de cemento sin desprendimiento de calor.
- Exceso de aluminato tricálcico (C_3A).
- Exceso de cal libre.
- Reacciones indeseadas con los áridos.

2.8.4.1.2. Agua

El agua que se utiliza para el hormigón puede ser el agua saneada, en caso de no tener acceso a esta agua se debe cumplir con algunas condiciones, como se indica en la Tabla 12. Los ingredientes del agua deben estar presentes en cantidades bajas para no afectar a las propiedades del hormigón y a la corrosión de las armaduras.

Sustancia	Limitación	Causa
pH	≥ 5	Acidez del agua
Sustancias disueltas	≤ 15 gr por litro	Pueden alterar el fraguado y endurecimiento
Sulfatos SO_4	≤ 1 gr por litro	Procesos de desintegración
Ión Cloruro Cl^-	≤ 3 gr por litro	Corrosión de la armadura
Hidratos de carbono	0	Pueden alterar el fraguado y endurecimiento
Sustancias solubles en éter	≤ 15 gr por litro	Pueden alterar el fraguado y endurecimiento

Tabla 12 Limitaciones de las sustancias en el agua. Fuente: (Porto Quintián, 2005)

2.8.4.1.3. Áridos

- Exceso de finos.
- Áridos muy alargados.
- Áridos con compuestos de azufre (pirita).
- Limpieza insuficiente de áridos.
- Granulometría no continua.

2.8.4.1.4. Aditivos

El principal problema es el mal uso del aditivo. En cantidades no recomendadas por el fabricante produce efectos indeseados en el hormigón y alteraciones en sus propiedades.

Los aditivos pueden contener iones cloruros.



2.8.4.2. Consecuencias

2.8.4.2.1. Cemento

- Cuando ocurre un falso fraguado el hormigón reduce su consistencia, por lo tanto, aumenta el tiempo de hormigonado y el costo de mano de obra.
- Un exceso de aluminato tricálcico causa resistencias bajas a heladas y el hormigón se vuelve vulnerable al ataque de sulfatos.
- Un exceso de cal produce expansiones indeseadas llevando a la fisuración en el hormigón.
- Al reaccionar, los álcalis del cemento, con los áridos puede generar un gel expansivo disgregando al hormigón.

2.8.4.2.2. Agua

La presencia de las sustancias fuera del límite establecido (Tabla 12), causan:

- Corrosión en el acero de refuerzo.
- Alteran el fraguado y endurecimiento de la pasta.
- Desintegración por presencia de sulfatos.

El exceso de agua causa reducción en la resistencia del hormigón.

2.8.4.2.3. Áridos

- Baja resistencia debido al exceso de finos.
- Cuando se utilizan áridos alargados se necesita mayor cantidad de agua, reduciendo la resistencia del hormigón.
- Los áridos con pirita generan compuestos expansivos, al reaccionar con el cemento, destruyendo la pasta.
- Si los áridos no están limpios, no se adhieren bien a la mezcla generando delaminaciones.
- Hormigones con bajas resistencias, por la poca adherencia entre la pasta y el árido causada por la mala granulometría.

2.8.4.2.4. Aditivos

- Cuando los aditivos contienen iones cloruros están sujetos a ataques por cloruros.
- La mejora de algunas propiedades puede empeorar otras.
- El exceso de aditivos da un comportamiento contrario al esperado.
- Los aditivos inclusores de aire y aceleradores de fraguado pueden acelerar los procesos de corrosión.



2.8.4. Bibliografía

- Arancibia, F. (2009). Hundimiento de muros de contención. Ingeniería y Construcción. Recuperado de: <https://facingyconst.blogspot.com/2009/08/hundimiento-de-muros-de-contencion.html>
- Concreto online. (2018). Patologías por arcillas expansivas, naturaleza y comportamiento. Construcción. Recuperado de: <https://www.concretonline.com/construccion/patologias-por-arcillas-expansivas-naturaleza-y-comportamiento>
- Das, B. M. (2012). 5.20 Asentamientos tolerables en edificios. In Fundamentos de ingeniería de cimentaciones (7ma edición, pp. 282–285). Recuperado de: https://issuu.com/gustavochonlongalcivar/docs/fundamentos_de_ingenieria_de_ciment
- Gamboa, M. (2020). Asentamientos diferenciales. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/447662489/ASENTAMIENTOS-DIFERENCIALES-docx>
- Ingeniero de caminos. (2020). Asentamientos en suelos. Recuperado de: <https://ingeniero-de-caminos.com/asentamientos-en-suelos/>
- Ipiales, M. (2015). Guía de Evaluación de Estructuras de Hormigón Armado y procedimientos de ensayos no destructivos, previo a su intervención y reparación. In Disertación previa a la obtención del título de Ingeniero Civil. Universidad Internacional del Ecuador. Recuperado de: <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/2205/1/T-UIDE-1254.pdf>
- Monroy, R. (2007). Patologías En Estructuras De Hormigón Armado Aplicado a Marquesina Del Parque Saval. In Tesis para optar al título de: Ingeniero Civil en Obras Civiles. Universidad Austral de Chile. Recuperado de: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/bmfcim753p/doc/bmfcim753p.pdf>
- Pérez Valcárcel, J. (2008). Patología producida por muros y pantallas. Recuperado de: https://www.udc.es/dep/dtcon/estructuras/ETSAC/Profesores/valcarcel/MaterMRHE-0809/2b-Patologia_muros_y_pantallas.pdf
- Porto Quintián, J. (2005). Capítulo 1 Patologías en las estructuras de hormigón armado [Universidade da Coruña.]. In Manual de patologías en las estructuras de hormigón armado. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/2183/13853>
- Silva, O. J. (2020). Patologías más comunes en muros de contención de concreto. Recuperado de: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/patologias-muros-contencion-concreto>
- Solinjection. (2014). Tratamiento de arcillas. Soluciones. Recuperado de: <http://www.solinjection.es/solutions/tratamiento-de-arcillas.html>
- Square it inmobiliaria. (2014). Que son los asentamientos y sus consecuencias. Recuperado de: <http://squareitinmobiliaria.blogspot.com/2014/10/que-son-los-asentamientos-y-sus.html>

CAPÍTULO III: ENSAYOS



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Contenido

CAPÍTULO III: ENSAYOS	182
Introducción	184
Ensayos No Destructivos (END)	184
Ensayos In-Place (EIP)	184
Ensayos Semi-Destructivos (ESD)	185
3.1. INSPECCIÓN VISUAL	191
3.2. ENSAYO DE DETECCIÓN DE ARMADURAS	200
3.3. ENSAYO GPR PARA EVALUACIÓN DEL CONCRETO	207
3.4. ENSAYO DE TERMOGRAFÍA INFRARROJA	227
3.5. ENSAYO DE POTENCIAL DE CORROSIÓN	240
3.6. ENSAYO DE ULTRASONIDO	248
3.7. ENSAYO DE MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DE ONDA-P Y ESPESOR DE PLACAS DE CONCRETO, MÉTODO IMPACTO-ECO.....	261
3.8. ENSAYO DE CARBONATACIÓN	274
3.9. ENSAYO DE ADHERENCIA (PULL OFF)	281
3.10. ENSAYO DE NÚCLEOS PERFORADOS	289
3.11. ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA	300
3.12. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA EXTRACCIÓN POR DESLIZAMIENTO (PULL OUT)	310
3.13. ENSAYO DE MADUREZ PARA LA ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA DE CONCRETO EN OBRA.	325

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **183** de **473**



Introducción

Durante las últimas décadas se han desarrollado mecanismos que ayuden en los análisis de estructuras. Estos ensayos tienen como objetivo evaluar la durabilidad o integridad de las estructuras, principalmente en las estructuras que presentan signos de deterioro; entre estos métodos se destacan los Ensayos No Destructivos y Semi-Destructivos para evaluar la condición de infraestructuras durante la construcción y uso de las mismas. Actualmente la mayoría de ingenieros son conscientes de la necesidad de utilizar los ensayos in-situ (Henry, 2003), sin embargo, es importante conocer las limitaciones y los parámetros o propiedades que evalúa cada ensayo. Es trascendental realizar los ensayos adecuados para no sufrir pérdidas de tiempo o dinero. Mediante entrevistas con Ingenieros Forenses, se eligieron los ensayos más utilizados en nuestro medio. Los cuales fueron clasificados en Ensayos No Destructivos (END) y Ensayos Destructivos o Ensayos Semi-Destructivos (ESD).

Ensayos No Destructivos (END)

Estos ensayos son los más utilizados para la evaluación del hormigón debido a que no causan daños estructurales. Los principales usos de los END son (ACI 228.2R, 1998):

- Control de calidad en construcciones nuevas.
- Localización de problemas.
- Evaluación del estado del hormigón antiguo para su rehabilitación.
- Garantía de calidad de las reparaciones del hormigón.

Las principales ventajas y desventajas de estos ensayos se muestran en la Tabla 13.

Ensayos No Destructivos	
Ventajas	Desventajas
Velocidad de uso	Requieren de una adecuada calibración
Son rentables económicamente	Se recomienda personal calificado para su uso
Los equipos son portátiles	Precisión limitada
No causan daño a la estructura	Los resultados dependen de la experiencia del personal
No producen cambios en las propiedades del hormigón	Se necesitan ensayos adicionales para corroborar los resultados
Los resultados se conocen de forma inmediata	Se requiere acceso a la superficie
Se puede evaluar áreas grandes	

Tabla 13 Ventajas y desventajas de los END. Fuente: (Autores)

Ensayos In-Place (EIP)

El ACI 228.1R clasifica ensayos en la categoría In-Place debido a que incluye a los que no alteran el hormigón y también a los que dan lugar a daños superficiales. El objetivo principal de estos ensayos es determinar la resistencia a compresión del hormigón, mediante correlaciones con otras propiedades; tanto en estructuras en construcción como en estructuras existentes. En los ensayos In-Place se puede tener ensayos con



UNIVERSIDAD DE CUENCA

principios Semi-Destructivos como el Pull Out y No Destructivos como la esclerometría y el ensayo de Madurez. Por lo que, en caso de requerir, se pueden clasificar estos ensayos en ESD Y END respectivamente.

Ensayos Semi-Destructivos (ESD)

Los ensayos Destructivos o Semi-Destructivos, llamados así por varios autores, se utilizan cuando los END no presentan resultados confiables y se requieren utilizar estos métodos como una evaluación más precisa. Las ventajas y desventajas de los ESD se indican en la Tabla 14.

Ensayos Semi-Destructivos	
Ventajas	Desventajas
Mayor precisión	Causan daños en las estructuras
Dan la última palabra sobre la condición de la estructura	Son costosos
	Requieren mayor tiempo
Menos muestras	Son más laboriosos
	Equipos pesados y difíciles de transportar

Tabla 14 Ventajas y desventajas de los ESD. Fuente: (Autores)

Para cada uno de los ensayos escogidos se facilita una plantilla de llenado de datos, las cuales contienen los principales parámetros que se deben anotar durante los ensayos y un instructivo de llenado con ejemplos en cada caso; el instructivo se encuentra en la página siguiente de cada plantilla (Sección 6.4). Cada ensayo tiene un código que se relaciona con la plantilla correspondiente; este código está ubicado en el extremo superior derecho en la plantilla y en la parte inferior de cada ensayo.


 UNIVERSIDAD DE CUENCA Facultad de Ingeniería	MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-DESTRUCTIVOS	CÓDIGO ESD01	
INSTITUCIÓN		HORA	FECHA
PROYECTO			
UBICACIÓN			

Gráfico 132 Ubicación del código en las plantillas. Fuente: (Autores)

En la Tabla 16, Tabla 17, Tabla 18 y Tabla 19 se indica los ensayos clasificados según el tipo y se coloca el principio, los principales usos, la zona de análisis, las normas y el daño causado en cada ensayo. La calificación de daño se indica en la Tabla 15.

Nomenclatura	Significado
S/D	Sin daño
+	Daño superficial
++	Daño considerable
+++	Alteración del elemento estructural

Tabla 15 Nomenclatura de daños causados por los ensayos. Fuente: (Autores)

En la Tabla 20 se indican los parámetros que se pueden conseguir al utilizar cada ensayo.

Vigencia desde:	Página 185 de 473
Marzo-2021	



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Tipo de ensayo	Sección	Ensayo	Principio	Usos	Zona de análisis	Norma	Daño causado
END	3.1	Inspección Visual	Identificación y ubicación de patologías e irregularidades, a través del ojo humano, para evaluar la condición de la infraestructura.	<ul style="list-style-type: none"> Ubicación de las patologías en la estructura. Determinación de los ensayos a realizar en la estructura. Verificación de la correcta ejecución del proyecto. Evaluación del estado de la estructura como bueno, malo o regular. Identificación de mecanismos de daño a la estructura. 	Superficial	ACI 364.1R	S/D
	3.2	Detección de armaduras	Propagación de ondas electromagnéticas.	<ul style="list-style-type: none"> Obtención de la ubicación del acero de refuerzo. Medición del espesor, dirección y profundidad de las varillas. 	Superficial	ACI 228.2R BS 1881-204	S/D
	3.3	GPR	Propagación de ondas electromagnéticas, utilizando el principio de reflexión de las ondas propagadas.	<ul style="list-style-type: none"> Localización del acero de refuerzo. Obtención del recubrimiento de las varillas. Medición del espesor de las losas y pavimentos. Detección de deterioros, vacíos internos y cavidades. Evaluación de la calidad del concreto. Localización de canalización y tuberías. 	Interna y superficial	ASTM D6432 ASTM D6087 ASTM D4748 ACI228.2R	S/D

Tabla 16 Clasificación y características de ensayos. Fuente: (Autores)



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Tipo de ensayo	Sección	Ensayo	Principio	Usos	Zona de análisis	Norma	Daño causado
END	3.4	Termografía infrarroja	Captación de la intensidad de la radiación infrarroja emitida por los cuerpos.	<ul style="list-style-type: none"> Localización de fugas. Ubicación de puentes térmicos. Detección de grietas, acumulación de calor, puntos de humedad. Detección de delaminaciones en puentes. 	Superficial	ASTM C1060 UNE-EN 13187 ASTM D4788 ACI 228.2R	S/D
	3.5	Potencial de Corrosión	Medición del diferencial de potencial (voltaje) entre el acero de refuerzo y un electrodo de referencia.	<ul style="list-style-type: none"> Evaluación de la calidad del acero de refuerzo. Obtención de la probabilidad de corrosión. Condición actual de la corrosión. 	Interna y superficial	ASTM C876 ACI 228.2R	S/D
	3.6	Ultrasonido	Utilización de transductores que miden el tiempo de propagación de una onda a través del concreto.	<ul style="list-style-type: none"> Evaluación de la uniformidad y calidad del concreto. Determinación de la presencia de vacíos y grietas. Identificación de cambios en las propiedades del concreto. Obtención del espesor de capas afectadas. Determinación de la profundidad e inclinación de fisuras. 	Interna y superficial	ASTM C597 ACI 228.1R ACI 228.2R NTE INEN-ISO 7963 NTE INEN-ISO 2400	S/D

Tabla 17 Clasificación y características de ensayos. Fuente: (Autores)



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Tipo de ensayo	Sección	Ensayo	Principio	Usos	Zona de análisis	Norma	Daño causado
END	3.7	Eco impacto	Obtención de la velocidad de Onda-P (generada por un impacto) entre dos transductores a una distancia conocida.	<ul style="list-style-type: none"> Medición del espesor de pavimentos, losas y muros. Detección de fallas, segregaciones y grietas. Detección de vacíos bajo losas. Evaluación de la calidad del concreto. Medición de profundidad de grietas superficiales. 	Interna y superficial	ASTM C1383 NTG 41017 h27 ACI 228.2R	S/D
ESD	3.8	Carbonatación	Obtención de la profundidad de carbonatación con el uso de fenolftaleína.	<ul style="list-style-type: none"> Evaluación inicial de la carbonatación en la estructura. Estimación de carbonatación. Medición de la profundidad de la capa carbonatada. 	Interna	RILEM CPC-18 ASTM STP205 UNE-EN 14630	++
	3.9	Adherencia (Pull Off)	Obtención de la resistencia a tensión en la superficie de concreto, mediante un equipo portátil que transmite tensión axial a un disco previamente adherido al concreto.	<ul style="list-style-type: none"> Evaluación de la resistencia a tensión de la unión entre el material de reparación y el concreto reparado. Evaluación de la resistencia de morteros de pega y recubrimientos. Estimar la resistencia de adherencia del concreto. 	Superficial	ASTM D7234 ASTM C1583 ASTM D4541	++

Tabla 18 Clasificación y características de ensayos. Fuente: (Autores)



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Tipo de ensayo	Sección	Ensayo	Principio	Usos	Zona de análisis	Norma	Daño causado
ESD	3.10	Núcleos perforados	Utilización de un extractor de núcleos para tomar muestras de estructuras existentes.	<ul style="list-style-type: none"> Determinación de la resistencia a compresión del hormigón. 	Interna	ASTM C42 NMX C-169	+++
EIP	3.11	Esclerometría	Obtención de la resistencia del hormigón mediante la relación entre la dureza de la superficie y la energía de rebote del martillo.	<ul style="list-style-type: none"> Estimación de la resistencia a compresión del hormigón. Evaluación de la dureza superficial del hormigón. Determinación de regiones deterioradas. 	Superficial	ASTM C805 NTE INEN 3121 ACI 228.1R	+
	3.12	Pull Out	Determinación de la fuerza necesaria para extraer un inserto embebido en el hormigón mediante un extractor hidráulico.	<ul style="list-style-type: none"> Evaluación de la resistencia a compresión en estructuras en construcción o existentes. Estimación de la calidad del hormigón en estructuras en construcción. 	Superficial	ASTM C900 ACI 228.1R NTG 41017 h26	++
	3.13	Madurez	Evaluación de la resistencia a compresión del concreto mediante la relación resistencia-madurez.	<ul style="list-style-type: none"> Estimación de la resistencia a compresión del hormigón. Evaluación de las condiciones de fraguado, curado y cambios de temperatura. 	Interna	ASTM C1074 NTG 41042 ACI 228.1R	S/D

Tabla 19 Clasificación y características de ensayos. Fuente: (Autores)



UNIVERSIDAD DE CUENCA

<div> <div>Parámetro a determinar</div> <div>Ensayo</div> </div>	Resistencia compresión	Resistencia tensión	Calidad del concreto	Ancho de grieta	Profundidad de grieta	Inclinación de grieta	Deformaciones	Ubicación varillas	Calidad del refuerzo	Diámetro varillas	Espesor de recubrimiento	Corrosión	Espesor losas	Vacíos	Carbonatación	Fugas	Localización tuberías	Puentes térmicos	Humedad	Dureza superficial	Adherencia	Condición de fraguado	Condición de curado	Variación de T°	Madurez
Inspección Visual				●			●					●													
Detección de armaduras								●		●	●														
GPR			●		●			●	●	●	●		●	●											
Termografía infrarroja																●	●	●	●						●
Potencial de Corrosión									●			●													
Ultrasonido			●	●	●	●							●	●											
Eco impacto			●		●								●	●											
Carbonatación															●										
Adherencia (Pull Off)	●	●																			●				
Núcleos perforados	●		●																						
Esclerometría	●																			●					
Pull Out	●		●																						
Madurez	●		●																			●	●	●	●

Tabla 20 Parámetros a determinar según el ensayo. Fuente: (Autores)



UNIVERSIDAD DE CUENCA

3.1. INSPECCIÓN VISUAL END01

Vigencia desde:

Marzo-2021

Código

END01

Página **191** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Contenido

3.1.	INSPECCIÓN VISUAL	191
3.1.1.	Objetivo.....	193
3.1.2.	Normas.....	193
3.1.3.	Usos.....	193
3.1.4.	Alcance.....	193
3.1.5.	Fase preliminar o de documentación	193
3.1.6.	Inspección visual o fase de observación en campo	195
3.1.6.1.	Pesos de patologías.....	198
3.1.7.	Bibliografía	199

Vigencia desde:

Marzo-2021

Código

END01

Página **192** de **473**



Existen varios autores que proponen guías para la evaluación de estructuras de hormigón, entre ellas la ACI 364.1R, en esta guía se describen procedimientos que se pueden utilizar para la evaluación de una estructura antes de la rehabilitación. Sin embargo, estos procedimientos deben utilizarse como guía y no reemplazar el juicio de un ingeniero con experiencia y responsable. Se recomienda la elaboración de un informe preliminar. (ACI 364.1 R, 1994; Díaz Barreiro, 2014)

3.1.1. Objetivo

El principal objetivo de la inspección visual es identificar y ubicar los elementos o estructuras que tienen patologías e irregularidades afectados por algún mecanismo de deterioro o daño, con el propósito de definir los ensayos no destructivos o destructivos para la evaluación a realizar con el fin de determinar la severidad de estos daños documentando detalladamente las evidencias que muestren el estado actual de la infraestructura. (Avendaño, 2006)

3.1.2. Normas

- ACI 364.1R

3.1.3. Usos

El estudio de patologías en una edificación se inicia cuando existen manifestaciones de alteraciones o daños visibles en la construcción. Existen lesiones primarias y secundarias; las primarias son las que aparecen inicialmente y secundarias las que surgen como resultado de las primarias. Las lesiones pueden ser (Díaz Barreiro, 2014):

- **Físicas:** Causadas por efectos ambientales.
- **Mecánicas:** Pueden ser superficiales o estructurales, se da por agotamientos de los elementos estructurales debido a sobrecargas.
- **Químicas:** Reacciones químicas entre factores del medio ambiente y los materiales de la construcción.
- **Antropogénicas:** Alteración de diseño y usos de la estructura.

3.1.4. Alcance

Con la inspección visual, se espera elaborar un informe preliminar en el cual se debe tomar en cuenta la calidad del diseño y la construcción de la estructura original, así como el estado actual de la estructura de la edificación. En los dos casos señalados se debe calificar, la calidad y el estado, la estructura como buena, regular o mala. (NSR, 2010)

Para la clasificación de la condición de la estructura, se puede utilizar la Tabla 23.

3.1.5. Fase preliminar o de documentación

Antes de realizar la inspección visual de la estructura se necesita recopilar y analizar información preliminar sobre el tipo de la estructura, efectos históricos que pudieron afectar a la estructura, modificaciones realizadas, entre otros. Para conseguir esta información se puede recurrir a distintas fuentes:

- Entrevistas.
- Planos.
- Estudios.
- Permisos solicitados.

Vigencia desde:	Código	Página 193 de 473
Marzo-2021	END01	



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Un estudio realizado por Díaz Barreiro (2014) recopila las variables; propuestas por varios autores como ACI 364, el programa de especialización en patología de la construcción de la Universidad Santo Tomás de Aquino, José Calavera, entre otros; que intervienen en un estudio patológico en edificaciones. Para la fase de recopilación de información plantea las variables que se indican en la Tabla 21.

Fase Preliminar a la inspección visual

- Nombre del proyecto
- Ubicación geográfica
- Revisión del proyecto original y registros de construcción
- Tipo de cimentación
- Sistema estructural
- Propietarios y usos
- Diseñadores
- Especificaciones del proyecto
- Fechas de diseño y correspondencia entre códigos y normas
- Construcción y puesta en servicio
- Vida útil proyectada
- Área construida
- Planos de diseño, especificaciones y cálculos
- Libro de obra
- Colocación de armadura de concreto
- Planes de alteración y órdenes de cambio
- Registros de trabajos de campo y la correspondencia con la obra
- Códigos de construcción
- Materiales de construcción, patentes y datos de ensayo
- Datos de control de calidad e informes de inspección en campo
- Fotografías del proceso constructivo
- Notas y registros de campo
- Informes de pruebas de materiales utilizados en elementos estructurales
- Registros de actividad sísmica, actividad geológica y estudios de suelos
- Información sobre el funcionamiento, ocupación, casos de sobrecarga y límites de carga

Tabla 21 Variables de la fase de documentación. Fuente: (Díaz Barreiro, 2014)

Vigencia desde:

Marzo-2021

Código

END01

Página **194** de **473**



3.1.6. Inspección visual o fase de observación en campo

Realizar inspección visual en una estructura es de vital importancia porque se realiza un reconocimiento de la misma; en donde se puede evaluar las condiciones ambientales, condición de la estructura, patologías, deformaciones visibles, cargas y además se puede comprobar la información recopilada con anterioridad. Las variables que se deben considerar en la inspección visual se muestran en la Tabla 22.

Inspección visual
• Daño visible
• Detectar la lesión
• Identificar la lesión
• Marcar la lesión
• Deformaciones y desviaciones visibles
• Asentamientos en la cimentación
• Nivel freático
• Geometría y materiales estructurales
• Humedad relativa
• Temperatura
• Presión
• Tipo de agua presente
• Sustancias agresivas y concentración
• Frecuencia y duración de la exposición
• Condiciones de exposición particulares o especiales
• Problemas ocultos
• Determinación de pruebas no destructivas
• Determinación de pruebas destructivas
• Registro fotográfico
• Procedimientos de registro
• Verificación de la construcción conforme a obra
• Cargas y medio ambiente
• Condición de valoración de la estructura

Tabla 22 Variables de la fase de observación en campo. Fuente: (Díaz Barreiro, 2014)

Las variables mostradas en la Tabla 22 se describen a continuación.

- **Daño visible:** Encontrar lesiones en la estructura, principalmente, agrietamientos o fisuras en mampostería o elementos estructurales.
- **Detectar la lesión:** Detectar el tipo de lesión, tomando en cuenta la sección 3.1.3 y el CAPÍTULO II: PATOLOGÍAS DE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN.

Vigencia desde:	Código	Página 195 de 473
Marzo-2021	END01	



UNIVERSIDAD DE CUENCA

- **Identificar la lesión:** Describir los daños encontrados con su correspondiente ubicación dentro de la estructura.
- **Marcar la lesión:** Con tiza o cinta marcar las lesiones encontradas.
- **Deformaciones y desviaciones visibles:** Anotar las deformaciones de elementos estructuras con sus posibles causas (Secciones 2.2 y 2.6).
- **Asentamientos en la cimentación:** Los asentamientos se pueden determinar por la diferencia de profundidad entre los apoyos o columnas de la estructura. (Sección 2.8.1)
- **Nivel freático:** Ubicar el nivel de agua por debajo del terreno. (Secciones 2.3 y 2.8.2)
- **Geometría y materiales estructurales:** Considerar diseños incorrectos de los elementos estructurales (Sección 2.1); las irregularidades en elevación o en planta que puede tener la estructura, las cuales afectan significativamente en el comportamiento sísmico (Sección 2.7) y los materiales que forman parte del hormigón (Sección 2.8.4).
- **Humedad relativa:** Anotar la humedad relativa del lugar; sirve para tener una referencia de la humedad a la que está expuesta la estructura. (Sección 2.3)
- **Temperatura:** Medir de la temperatura del lugar. (Sección 2.2)
- **Tipo de agua presente:** Encontrar el origen del agua que está presente en la edificación y, en caso de ser posible, determinar su composición. (Sección 2.4)
- **Sustancias agresivas y concentración:** Determinar si los elementos estructurales son afectados por sustancias agresivas como sulfatos, cloruros o químicos agresivos; las cuales pueden afectar la composición del hormigón o corroer el acero de refuerzo. Es importante determinar la concentración de dichas sustancias. (Secciones 2.5 y 2.4)
- **Frecuencia y duración de la exposición:** Investigar con qué frecuencia y por cuanto tiempo las sustancias agresivas están en contacto con la estructura.
- **Condiciones de exposición particulares o especiales:** Conocer si la estructura fue afectada por incendio (Sección 2.2.6), por un sismo (Sección 2.7), inundaciones (Sección 2.3), cambios bruscos de temperatura (Sección 2.2), exposición a residuos industriales (Sección 2.4.2) o problemas ocasionados por movimiento de suelos (Sección 2.8).
- **Problemas ocultos:** Inspeccionar problemas que no se pueden determinar a simple vista, como humedad debajo de las losas. (Sección 2.3)
- **Determinación de pruebas no destructivas:** Mediante las patologías encontradas, determinar que ensayos no destructivos se pueden realizar para evaluar, detalladamente, la condición de la infraestructura. (Sección: Ensayos No Destructivos (END))
- **Determinación de pruebas destructivas:** Evaluar si es necesario realizar ensayos destructivos, cuando la condición actual de la estructura es mala no se recomiendan estos ensayos. (Sección: Ensayos Semi-Destructivos (ESD))
- **Registro fotográfico:** Fotografiar las patologías encontradas como constancia para los informes que se presentarán.
- **Procedimientos de registro:** Para llevar el registro de la inspección visual y futuros ensayos se proponen plantillas para cada uno (Sección 6.4).

Vigencia desde:	Código	Página 196 de 473
Marzo-2021	END01	



UNIVERSIDAD DE CUENCA

- **Verificación de la construcción conforme a obra:** Verificar la correcta ejecución de obra conforme a las especificaciones técnicas, planos o condiciones de uso (Tabla 9, sección 4.2, NEC-SE-CG, 2014). Tomar en cuenta el recubrimiento, cargas, diámetros de varillas, tamaño de los elementos estructurales, resistencia de diseño del hormigón, entre otros. (Secciones 2.1, 2.6, 2.7.5 y 2.7.6)
- **Cargas y medio ambiente:** Considerar las cargas para las que fueron diseñados los elementos estructurales, los factores climáticos y agentes que puedan llevar a la desintegración de la estructura. (Secciones 2.3, 2.4, 2.5 y 2.6)
- **Condición de valoración de la estructura:** La norma NSR 10 en la sección A.10.2.2. sugiere calificar la calidad de diseño, construcción y el estado actual de la estructura. Estos pueden calificarse como bueno, malo o regular. El análisis se hará en función de la gravedad de los daños encontrados y de la experiencia del ingeniero forense.

En caso de ser necesario, medir las dimensiones de la estructura para realizar un modelo matemático o un análisis Pushover y en base a este, conocer mejor el comportamiento estructural de la edificación.

Todos los datos obtenidos de la Tabla 21, Tabla 22 se presentarán, detalladamente, en un informe preliminar. Es recomendable realizar un levantamiento de fisuras y de oquedades que presente la estructura, para tener un volumen aproximado de los daños. También se puede estimar la magnitud del daño y la cantidad de material de reparación que se necesita para una correcta intervención.

Vigencia desde:	Código	Página 197 de 473
Marzo-2021	END01	



3.1.6.1. Pesos de patologías

En la Tabla 23 se muestran pesos recomendados de cada patología, dando un valor mayor a las patologías que podrían causar un colapso estructural. Como se indicó, estos son valores recomendados y cada ingeniero puede dar su propio peso según su criterio y experiencia; en caso de usar valores propios se puede utilizar la PLANTILLA: PESOS PATOLOGÍAS (Sección 6.4), tomando en cuenta que el total de porcentajes debe sumar 100%.

Variable	Peso (%)
Agrietamientos en elementos estructurales	5
Fisuras en mampostería	3
Deformaciones y desviaciones visibles	8
Asentamientos en la cimentación	8
Nivel freático	4
Patologías por efecto humano	6
Patologías de materiales	3
Corrosión del acero de refuerzo	5
Humedad relativa	2
Temperatura	1
Tipo de agua presente	2
Sustancias agresivas y concentración	3
Problemas ocultos	2
Fuego	7
Viento	1
Sismos	9
Vibraciones no naturales	2
Inundaciones	4
Expansión del suelo	5
Empuje del suelo	5
Modificaciones de elementos estructurales	5
Modificaciones de uso de la estructura	5
Incumplimiento de especificaciones técnicas	3
Actualización de normas	2
Total	100

Tabla 23 Pesos recomendados para las patologías. Fuente: (Autores)

Vigencia desde:	Código	Página 198 de 473
Marzo-2021	END01	



UNIVERSIDAD DE CUENCA

3.1.7. Bibliografía

- ACI 364.1 R. (1994). Guide for Evaluation of Concrete Structures Prior to Rehabilitation. Evaluation, 94 (Reapproved), 1–22.
- Avendaño, E. (2006). Detección, tratamiento y prevención de patologías en sistemas de concreto estructural utilizados en infraestructura industrial [Universidad de Costa Rica]. In Tesis de Grado. Recuperado de: <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/936/27252.pdf?sequence=1>
- Díaz Barreiro, P. (2014). Protocolo para los Estudios de Patología de la Construcción en Edificaciones de Concreto Reforzado en Colombia. Recuperado de: <https://doi.org/http://hdl.handle.net/10554/12694>
- NSR. (2010). Título A - Requisitos Generales de Diseño y Construcción Sismo Resistente. Ministerio Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, Título A, 1–174.

Vigencia desde:

Marzo-2021

Código

END01

Página **199** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

3.2. ENSAYO DE DETECCIÓN DE ARMADURAS END02

Vigencia desde:

Marzo-2021

Código

END02

Página **200** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Contenido

3.2.	ENSAYO DE DETECCIÓN DE ARMADURAS	200
3.2.1.	Objetivo.....	202
3.2.2.	Normas.....	202
3.2.3.	Usos.....	202
3.2.4.	Alcance.....	202
3.2.5.	Materiales y Equipo	203
3.2.6.	Procedimiento.....	203
3.2.6.1.	Diagrama de flujo	205
3.2.7.	Análisis de información	205
3.2.8.	Glosario	205
3.2.9.	Bibliografía	206

Vigencia desde:

Marzo-2021

Código

END02

Página **201** de **473**



3.2.1. Objetivo

Es un ensayo no destructivo; su principal función es estimar la posición, profundidad y tamaño del refuerzo en estructuras de hormigón armado. Este ensayo no cuenta con una norma ASTM; sin embargo, el ACI 228.2R (Métodos no destructivos para la evaluación de las estructuras de concreto) y el BS 1881 parte 204 (Recomendaciones de uso de medidores de cobertura electromagnéticos) presentan información relevante como recomendaciones, principios de funcionamiento, métodos de uso y los factores que pueden influir en el resultado.

3.2.2. Normas

- ACI 228.2R
- BS 1881 - 204

3.2.3. Usos

Este ensayo se utiliza en elementos de estructuras de hormigón armado. Es necesario cuando no se poseen planos de diseño, constructivos o memorias técnicas de la infraestructura.

La detección de armaduras normalmente se combina con otros ensayos, principalmente con el ensayo de Núcleos perforados. Es necesario conocer la ubicación del acero de refuerzo antes de realizar la extracción para evitar atravesar las varillas y ocasionar importantes daños estructurales. De igual manera en el ensayo del esclerómetro para que el golpe no se realice sobre la varilla y se obtengan valores mayores a los reales.

3.2.4. Alcance

Para el uso de estos equipos, se debe conocer los principales limitantes o factores que pueden afectar al ensayo. (ACI 228.2R, 1998; BS 1881 - 204, 1988)

- El acero de refuerzo es detectado por un codificador únicamente cuando la varilla se encuentra dentro de la zona de influencia de la cabeza de búsqueda [\[1\]](#).
- La respuesta del equipo es máxima cuando la cabeza de búsqueda está ubicada directamente sobre la varilla de refuerzo, para conseguir esto el equipo debe colocarse paralelo con respecto a la dirección de la varilla.
- Generalmente, las cabezas de búsqueda pueden distinguir las varillas cuando están muy espaciadas, pero para refuerzos con espaciamientos pequeños va a depender de la precisión del equipo y es recomendable que el ensayo lo realice personal calificado.
- Las cabezas de búsqueda habitualmente tienen una capacidad reducida de penetración, debido a esto, no son capaces de localizar varillas con una cobertura profunda.
- El operador deberá distinguir entre las varillas de refuerzo y clavos, alambres u otros elementos superpuestos a las varillas.
- Los acabados del piso pueden tener agregados con propiedades magnéticas que pueden provocar medidas inexactas.
- Las estructuras metálicas de gran tamaño como ventanas, andamios o tuberías de acero pueden afectar los campos magnéticos o eléctricos, influyendo negativamente en los resultados. Principalmente cuando se encuentran inmediatamente detrás de la cabeza de búsqueda.

Vigencia desde:	Código	Página 202 de 473
Marzo-2021	END02	



- La corrosión en las varillas de refuerzo es otro factor que puede provocar resultados erróneos en el equipo.

3.2.5. Materiales y Equipo

- Detector de armaduras (Pachómetro)
- Tiza



Gráfico 133 Equipo detector de armaduras. Fuente: (PROCEQ SA)

3.2.6. Procedimiento

El procedimiento a emplear va a depender del equipo que se vaya a utilizar por lo que es recomendado consultar el manual de cada equipo; sin embargo, todos los instrumentos utilizados para detectar armaduras tienen el mismo principio. (Espinal et al., 2019)

- 1) Elegir el elemento estructural en donde se va a trabajar.
- 2) Retirar anillos, pulseras, relojes o cualquier accesorio metálico que pueda interferir en el campo magnético.
- 3) Deslizar suavemente la cabeza de búsqueda de izquierda a derecha sobre la superficie del elemento.

Vigencia desde:	Código	Página 203 de 473
Marzo-2021	END02	



UNIVERSIDAD DE CUENCA



Gráfico 134 Ubicar los aceros de refuerzo, detección de armaduras. Fuente: (Espinal et al., 2019)

- 4) Identificar los puntos en donde se encuentre el refuerzo. El equipo indica si existe un metal debajo de la superficie, la forma de indicar va a depender del equipo que se utilice. En el mercado existen equipos que tienen funciones variadas, algunos pueden indicar el diámetro de la varilla y espesor de recubrimiento.
- 5) Marcar los puntos donde se encuentre el acero de refuerzo, esto se lo realiza con ayuda de la tiza.
- 6) Recorrer nuevamente la superficie con la cabeza de búsqueda para verificar el posicionamiento de las varillas.
- 7) Repetir los pasos 3, 4, 5 y 6. Esta vez deslizando suavemente la cabeza de búsqueda de arriba hacia abajo sobre la superficie.
- 8) Trazar un mallado con los puntos obtenidos.



Gráfico 135 Trazado de mallado, detección de armaduras. Fuente: (Espinal et al., 2019)

Vigencia desde:	Código	Página 204 de 473
Marzo-2021	END02	



3.2.6.1. Diagrama de flujo

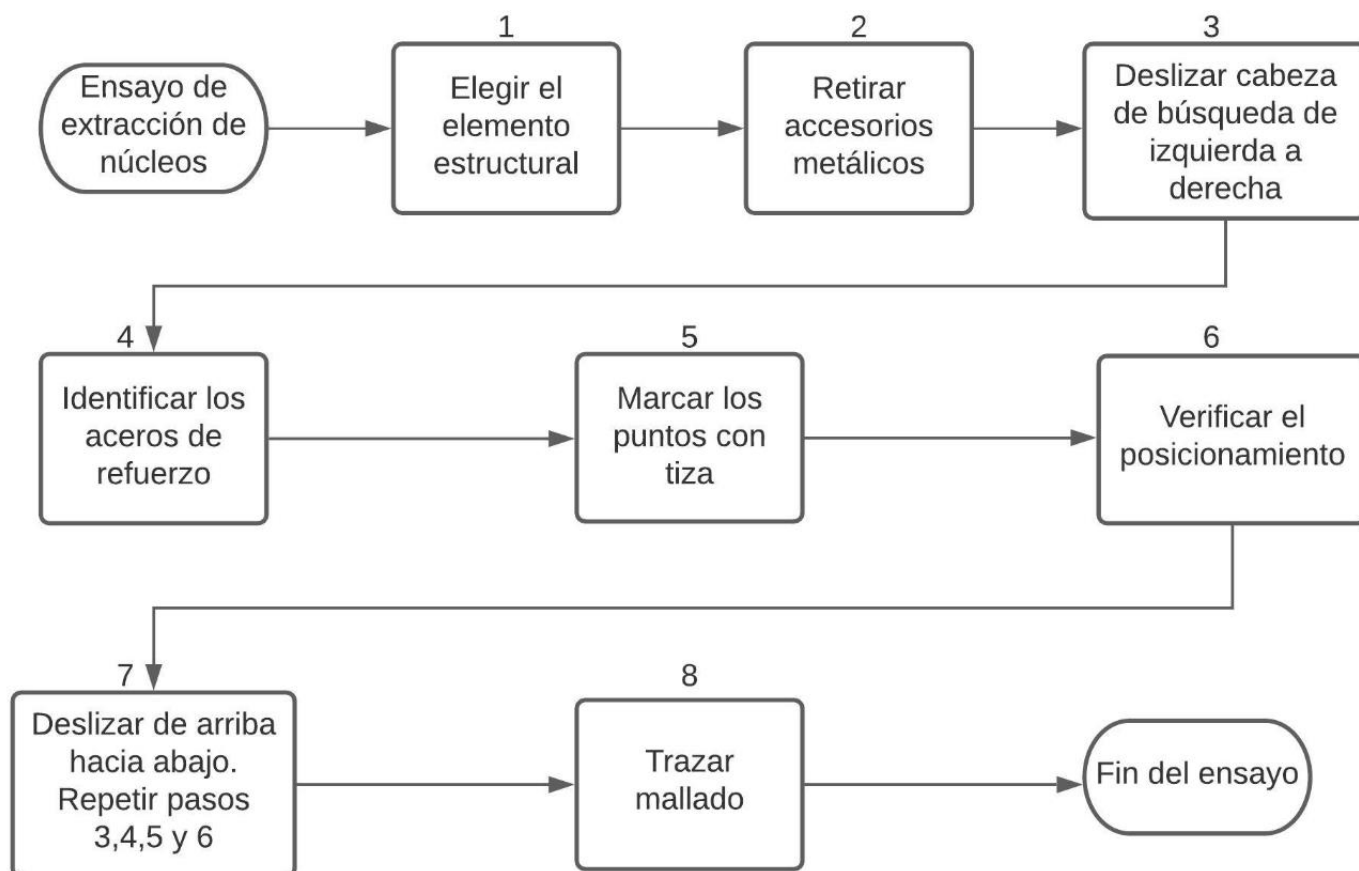


Diagrama de Flujo 1 Procedimiento para detección de armaduras. Fuente: (Autores)

3.2.7. Análisis de información

El detector de armaduras encuentra las varillas de refuerzo mediante pulsos electromagnéticos que chocan contra el acero, se produce un cambio local en la intensidad del campo afectado y el equipo emite un aviso de esta variación, la cual determina la ubicación de la varilla de refuerzo. (BS 1881 - 204, 1988)

El resultado es el mallado trazado que sirve como referencia para realizar otros ensayos como Núcleos perforados y esclerometría, como indica en la sección 3.1.3.

En algunos equipos se obtienen como resultado los diámetros o la dirección de las varillas.

3.2.8. Glosario

- [1] Cabeza de búsqueda: Es un sistema que consta de una bobina simple o múltiple con medidores de cobertura que utilizan inducción magnética.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

3.2.9. Bibliografía

- ACI 228.2R. (1998). Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures. Manual of Concrete Practice, 98(Reapproved), 62.
- BS 1881 - 204. (1988). Testing concrete - Part 204: Recommendations on the use of electromagnetic covermeters. British Standard, 1–13.
- Espinal, E., Hernández, D., & Echavarría, C. (2019). Cómo LOCALIZAR ARMADURAS, TUBERÍAS y CABLES ELÉCTRICOS dentro de elementos Constructivos- PACHÓMETRO. ArKiludus. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=wsSLNh6-ZJY>
- PROCEQ SA. (n.d.). Profometer and Profoscope rebar locators and concrete cover meters. Recuperado de: <https://www.proceq.com/compare/rebar-detection-and-cover-measurement/>

Vigencia desde:

Marzo-2021

Código

END02

Página **206** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

3.3. ENSAYO GPR PARA EVALUACIÓN DEL CONCRETO END03

Vigencia desde:

Marzo-2021

Código

END03

Página **207** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Contenido

3.3.	ENSAYO GPR PARA EVALUACIÓN DEL CONCRETO	207
3.3.1.	Objetivo.....	209
3.3.2.	Normas.....	209
3.3.3.	Usos.....	209
3.3.4.	Alcance.....	209
3.3.5.	Materiales y Equipo.....	210
3.3.5.1.	Antenas	210
3.3.5.2.	Unidad central o de control.....	212
3.3.5.3.	Accesorios	213
3.3.6.	Procedimiento.....	214
3.3.6.1.	Procedimiento preliminar	214
3.3.6.1.1.	Procedimiento para identificar el espesor de la losa y la ubicación de varillas ..	214
3.3.6.1.2.	Procedimiento para la evaluación de puentes	216
3.3.6.1.3.	Procedimiento para la evaluación de la estructura del pavimento	216
3.3.6.2.	Diagramas de flujo	217
3.3.6.2.1.	Diagrama para identificar el espesor de la losa y la ubicación de varillas	217
3.3.6.2.2.	Diagrama para la evaluación de puentes	217
3.3.6.2.3.	Diagrama para la evaluación de la estructura del pavimento	218
3.3.7.	Análisis de información	218
3.3.7.1.	Velocidad de propagación	218
3.3.7.2.	Interpretación de resultados de referencia	220
3.3.8.	Glosario	225
3.3.9.	Bibliografía	226

Vigencia desde:

Marzo-2021

Código

END03

Página **208** de **473**



3.3.1. Objetivo

Es un ensayo no destructivo basado en la emisión y propagación de ondas electromagnéticas, de muy corta duración, en un medio. La técnica del Georradar usa el principio de reflexión de las ondas propagadas; estas reflexiones se producen en las discontinuidades. El GPR detecta cambios en las constantes dieléctricas de los materiales; cada material tiene un valor propio de constante dieléctrica. Cuando existen variaciones en dichas constantes parte de la energía rebota a la superficie, mientras la energía restante continua el recorrido hasta detectar un nuevo cambio. Es un método muy atractivo al momento de realizar estudios de evaluación de concreto, debido a que presenta imágenes de alta resolución y resultados confiables; se puede utilizar en evaluación de pavimentos, puentes y estructuras de hormigón armado. (Álvarez & Ochoa, 2018; Gehrig et al., 2004; María Veloz, 2014; Pellicer, 2014)

3.3.2. Normas

- ASTM D6432
- ASTM D6087
- ASTM D4748
- ACI 228.2R

3.3.3. Usos

El Georradar, al presentar resultados con altas resoluciones y ser un ensayo no destructivo, ayuda a tener un amplio conocimiento con respecto a las restauraciones, conservación y mantenimiento de las edificaciones (Pellicer, 2014). Tomando como referencia las estructuras de hormigón, sus principales aplicaciones son (Germann Instruments inc; Pellicer, 2014):

- Localización del acero de refuerzo u otras incrustaciones metálicas y la profundidad a las que se encuentran.
- Obtención del recubrimiento de las varillas.
- Medición del espesor de las losas y pavimentos.
- Detección de deterioros, vacíos internos y cavidades.
- Detección de cables de corriente eléctrica.
- Evaluación de la calidad del concreto.
- Localización de canalización y tuberías.
- Evaluación de puentes y estructuras de pavimentos.

3.3.4. Alcance

El método GPR es fácil, rápido y presenta resultados confiables; sin embargo, se deben tener en cuenta algunas consideraciones al momento de realizar el ensayo (ASTM D6432, 2011):

- En ocasiones es necesario integrar el Georradar con otras fuentes de conocimiento o métodos geofísicos para obtener información precisa y rentable.
- Todos los métodos geofísicos de superficie son limitados por la disminución de la resolución con la profundidad.
- La penetración es del orden de 1 a 10 m.

Vigencia desde:	Código	Página 209 de 473
Marzo-2021	END03	



- Cuando la alineación, del equipo con respecto a la barra de refuerzo en el concreto, es paralela se maximizará la capacidad de mapear la barra de refuerzo; pero cuando la alineación es perpendicular a la barra de refuerzo minimizará los reflejos de dispersión y complicará la obtención del espesor del hormigón.
- Las mediciones obtenidas por el método GPR pueden contener señales no deseadas (ruido) causadas por factores geológicos y factores culturales. Los ruidos ambientales y geológicas pueden ser generados por cantos rodados, madrigueras de animales, raíces de los árboles. Las fuentes culturales de ruido incluyen reflejos de vehículos cercanos, edificios, cercas, líneas eléctricas, farolas. Cuando existe este tipo de interferencia, se puede usar una antena blindada para reducir el ruido.
- Todos los ruidos se deben anotar y considerar cuando se procesen e interpreten los datos.

3.3.5. Materiales y Equipo

El equipo de un GPR está compuesto por una antena emisora, encargada de emitir ondas; una antena receptora, encargada de recibir las ondas electromagnéticas; la unidad central o de control, encargada de controlar las emisiones y recepciones de las antenas; una unidad de almacenamiento de registros; encargada de registrar, almacenar y procesar la información recibida por las antenas y gestionadas por la unidad central. También se pueden añadir al equipo accesorios que complementen al equipo. (Aguilera, 2013; Pellicer, 2014)

3.3.5.1. Antenas

Las antenas son parte importante del equipo básico, son las encargadas de transmitir y recibir la energía que proporciona la información. Es decir, son los elementos encargados de emitir el pulso electromagnético al medio y recibir la energía que regresa a la superficie tras sufrir una reflexión. La principal forma de caracterizar a las antenas es por la frecuencia central de su emisión; con la velocidad de onda en el medio y esta frecuencia se puede calcular la longitud de onda del pulso emitido (Aguilera, 2013; Pellicer, 2014):

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

Ecuación 1 Longitud de Onda, ensayo GPR. Fuente: (Pellicer, 2014)

Donde:

λ : Longitud de onda.

v : Velocidad de onda.

f : Frecuencia.

Mientras mayor sea la frecuencia de emisión, la longitud de onda será menor. La profundidad de penetración varía en función de la frecuencia como se indica en la Tabla 24.

Vigencia desde:	Código	Página 210 de 473
Marzo-2021	END03	



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Frecuencia	Profundidad de penetración (m)	Aplicaciones típicas
2.0 GHz	0 - 0.75	Espesores de pavimentos y evaluación de estado de carreteras
1.0 GHz	0 - 0.90	Carreteras y evaluación de puentes
2600 MHz	0 - 0.40	Evaluación de hormigón
2300 MHz	0 - 0.60	Evaluación de hormigón
2000 MHz	0 - 0.40	Evaluación de hormigón
1600 MHz	0 - 0.50	Evaluación de hormigón
1000 MHz	0 - 0.60	Evaluación de hormigón
900 MHz	0 - 1.00	Evaluación de hormigón, Detección de huecos, Arqueología
400 MHz	0 - 4.00	Detección de huecos, Arqueología, Ingeniería, Medioambiente
270 MHz	0 - 6.00	Ingeniería, Geotecnia
200 MHz	0 - 9.00	Geotecnia, Ingeniería, Medioambiente
100 MHz	2.00 - 15.00	Geotecnia, Ingeniería, Minería
16 - 80 MHz	0 - 50.00	Geotecnia

Tabla 24 Tipos de antenas según frecuencia, profundidad de penetración y aplicaciones para equipos GSSI, ensayo GPR. Fuente: (GSSI; Pellicer, 2014)

Las antenas de un Georradar también se pueden diferenciar en función del número de antenas. Existen antenas monoestáticas las cuales tienen solo una antena que funciona como emisor y receptor; y antenas biestáticas que se componen de dos módulos separados, por un lado, la antena emisora y por otro la antena receptora. (Aguilera, 2013; Pellicer, 2014)



Gráfico 136 Antena monoestática, modelo 2600 MHz y Antena biestática, modelo 100MHz; ensayo GPR. Fuente: (GSSI)

Cada una de las antenas tiene ventajas y desventajas; sin embargo, para el estudio de la evaluación del concreto las antenas monoestáticas generalmente tienen más ventajas en la calidad de datos obtenidos y en la eficiencia del procesamiento. (Gehrig et al., 2004)

Vigencia desde:	Código	Página 211 de 473
Marzo-2021	END03	



Tanto las antenas monoestáticas como las biestáticas pueden ser apantalladas o sin apantallar. Las apantalladas, son recomendables, están envueltas con un escudo blindado que no permite el paso de ondas residuales y las antenas sin apantallar no poseen este escudo. (Pellicer, 2014)

Los georradars utilizan bandas de frecuencia situadas entre 3 GHz y 10 MHz. La Tabla 25 muestra las longitudes de onda correspondientes a cada banda para la propagación en el vacío [\[1\]](#). (Aguilera, 2013)

Banda	Frecuencia	Longitud de onda (m)	Denominación
HF [2]	3 - 30 MHz	100 - 10	Alta frecuencia
VHF [3]	30 - 300 MHz	10 - 1	Muy alta frecuencia
UHF [4]	0.3 - 3 GHz	1 - 0.1	Ultra alta frecuencia

Tabla 25 Longitudes de onda en el vacío para frecuencias del GPR, ensayo GPR. Fuente: (Aguilera, 2013)

Tomando como referencia los valores de la Tabla 25, en el Gráfico 137 se muestra cómo cambia de longitud de onda cuando varía la frecuencia. Una frecuencia alta tiene una menor longitud de onda, no alcanza grandes profundidades, pero presenta un mejor detallamiento de la sub superficie en análisis, Gráfico 137.a. Por otro lado, una frecuencia menor tiene largas longitudes de onda, alcanza grandes profundidades, pero es menos detallada, Gráfico 137.b. En este caso, se pueden estar ignorando detalles importantes; sin embargo, la selección de la frecuencia depende del tipo de trabajo que se va a realizar.

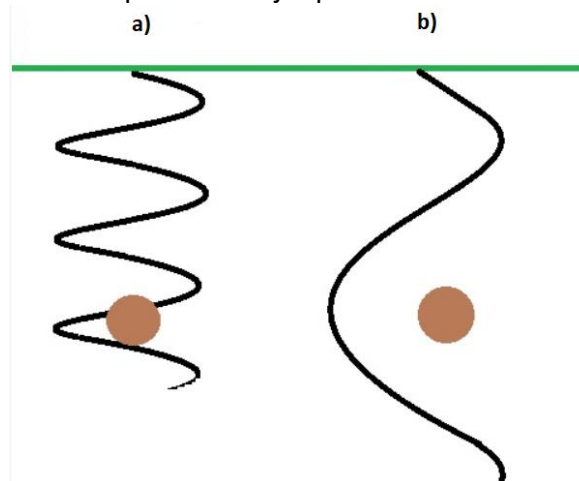


Gráfico 137 Tipos de onda, según la frecuencia aplicada; ensayo GPR. Fuente: (GPR training curses)

3.3.5.2. Unidad central o de control

La unidad central es la encargada de realizar la coordinación y control de las antenas, de los accesorios que se pueden implementar al equipo y de la señal emitida. La unidad contiene un software (unidad de almacenamiento) que permite actuar sobre la señal emitida y sobre los registros que se adquieren: filtración y modificación de las ganancias del registro. La unidad de control normalmente está conectada a un monitor que permite visualizar la señal; en otros equipos, esta unidad central es un portátil personal con un programa que permita tener el control de las antenas y el procesamiento de las señales. (Aguilera, 2013; Pellicer, 2014)



Gráfico 138 Unidad de control SIR 4000, ensayo GPR. Fuente: (GSSI)

3.3.5.3. Accesorios

Los accesorios que se pueden ocupar con el Georradar se puede dividir en dos grupos (Pellicer, 2014):

- **Accesorios para visualización y almacenamiento de los registros:** Dentro de estos complementos se tienen pantallas, programas informáticos y unidades de registro de datos.
- **Accesorios para situar los perfiles:** Se tienen marcadores y odómetros.

Marcadores: Permiten introducir una marca en el registro cada que se presiona un pulsador, con esto se consiguen marcas al inicio y final del perfil, así como en algún elemento especial dentro del perfil. Deben estar conectados a la unidad central y a las antenas.

Odómetros ^[5]: Permiten determinar la posición de los distintos puntos con mayor precisión que los marcadores. Debe conectarse a la unidad de control y a las antenas.



Gráfico 139 Odómetro conectado al equipo GPR, ensayo GPR. Fuente: (GSSI)

Vigencia desde:	Código	Página 213 de 473
Marzo-2021	END03	



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Cuando se requiere realizar el ensayo de GPR para evaluación de carreteras, se necesita un vehículo y el equipo antes descrito se coloca como se indica en el Gráfico 140.



Gráfico 140 Equipo de GPR para evaluación de carreteras, ensayo GPR. Fuente: (María Veloz, 2014)

3.3.6. Procedimiento

El éxito de un estudio GPR se basa en la calificación y experiencia del personal responsable y en una correcta preparación del ensayo. (ASTM D6432, 2011)

3.3.6.1. Procedimiento preliminar

- 1) Planificar el ensayo. Elegir el tipo de ensayo que se va a realizar, evaluar el tipo de suelo e información de la geología del lugar (para el caso de evaluación de carreteras); obtener información histórica del elemento a evaluar.
- 2) Determinar la precisión necesaria del equipo, con esto la frecuencia necesaria de la antena para la profundidad y aplicación requerida (Tabla 24).
- 3) Evaluar si existe suficiente contraste de propiedades entre los materiales presentes en el área de estudio. Tomando en cuenta la Tabla 26.

3.3.6.1.1. Procedimiento para identificar el espesor de la losa y la ubicación de varillas

- 1) Realizar el procedimiento previo (sección 3.3.6.1).
- 2) Deslizar el equipo sobre la superficie de interés.
 - Si el objetivo del ensayo es determinar el espesor de la losa, anotar el resultado (Tomar como referencia la sección 3.3.7.2).
 - En caso de que el objetivo sea identificar la ubicación de los aceros de refuerzo y su recubrimiento, continuar con el paso 3.
- 3) Regresar el equipo lentamente, sobre la misma línea del paso 2, hasta que la delgada línea que aparece en el monitor coincida con el vértice de la hipérbola formada. Como se indica en el gráfico a continuación.

Vigencia desde:

Marzo-2021

Código

END03

Página 214 de 473



UNIVERSIDAD DE CUENCA

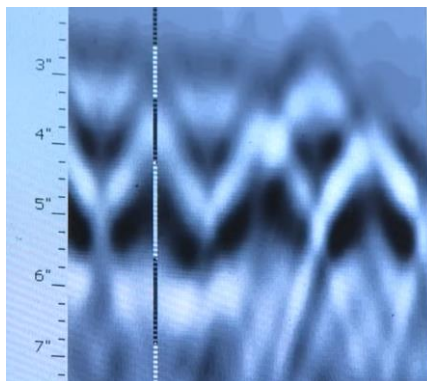


Gráfico 141 Detección de varillas, ensayo GPR. Fuente: (GSSI, 2011)

- 4) Marcar con tiza en el concreto sobre la referencia indicada a cada costado por el equipo y con una “X” en la mitad de las marcas realizadas.



Gráfico 142 Marcas longitudinales, ensayo GPR. Fuente: (GSSI, 2011)

- 5) Deslizar el equipo en una dirección perpendicular con respecto a la utilizada en el paso 2.



Gráfico 143 Trazado perpendicular, ensayo GPR. Fuente: (GSSI, 2011)

- 6) Repetir los pasos 3 y 4.
 7) Trazar el mallado.
 8) Anotar el recubrimiento y otros objetos encontrados (tuberías, ductos eléctricos, entre otros.) (sección 3.3.7.2).

Vigencia desde:	Código	Página 215 de 473
Marzo-2021	END03	



UNIVERSIDAD DE CUENCA

3.3.6.1.2. Procedimiento para la evaluación de puentes

Cuando se requiere evaluar los bastiones o columnas (pilas) de un puente, se sigue el procedimiento de la sección 3.3.6.1.1.

En caso de evaluación de la losa, seguir el siguiente procedimiento.

- 1) Realizar el procedimiento previo (sección 3.3.6.1).
- 2) Limpiar la superficie.
- 3) Probar el equipo en una superficie seca. El equipo tendrá incorporado un triciclo o vehículo y odómetro.
- 4) Solicitar ayuda a las autoridades para cerrar el flujo vehicular al momento del ensayo, de esta forma no se tendrán grandes ruidos que afecten los resultados. Es recomendado realizar el ensayo en horas de poco tráfico.



Gráfico 144 Evaluación de puente en Cuenca-Ecuador, ensayo GPR. Fuente: (Álvarez & Ochoa, 2018)

- 5) Realizar pases longitudinales con una distancia menor a 15 cm entre pases. (ASTM D6087, 2008)
- 6) Realizar pases transversales. La distancia dependerá de la ubicación de las antenas (ASTM D6087, 2008). (Menor a 1 m si se utiliza vehículo y menor a 0.6 m si se utiliza triciclo)
La velocidad de pasada para los puntos 4 y 5 estará dada por el fabricante.
- 7) Analizar resultados. (sección 3.3.7.2)

3.3.6.1.3. Procedimiento para la evaluación de la estructura del pavimento

- 1) Realizar el procedimiento previo (sección 3.3.6.1).
- 2) Armar el equipo, como se indica en el Gráfico 140.
- 3) Despejar la zona de estudio, evitando la provocación de ruidos importantes.
- 4) Calentar el equipo por un tiempo aproximado entre 30 y 60 minutos. (ASTM D4748, 2010)
- 5) Recorrer con el automóvil la zona de interés, a una velocidad máxima de 8 Km/h. (ASTM D4748, 2010)
- 6) Analizar resultados. (sección 3.3.7.2)

Vigencia desde:	Código	Página 216 de 473
Marzo-2021	END03	



3.3.6.2. Diagramas de flujo

3.3.6.2.1. Diagrama para identificar el espesor de la losa y la ubicación de varillas

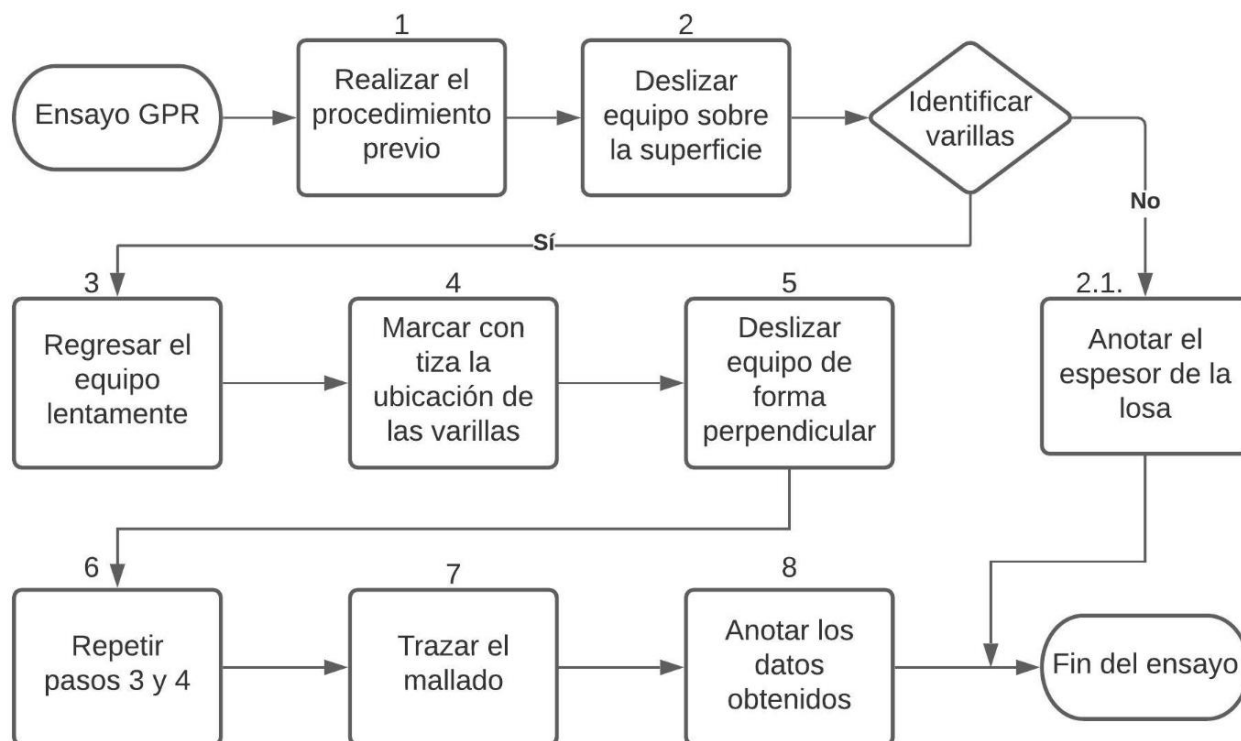


Diagrama de Flujo 2 Procedimiento para identificar el espesor de la losa y ubicación de varillas, ensayo GPR. Fuente: (Autores)

3.3.6.2.2. Diagrama para la evaluación de puentes

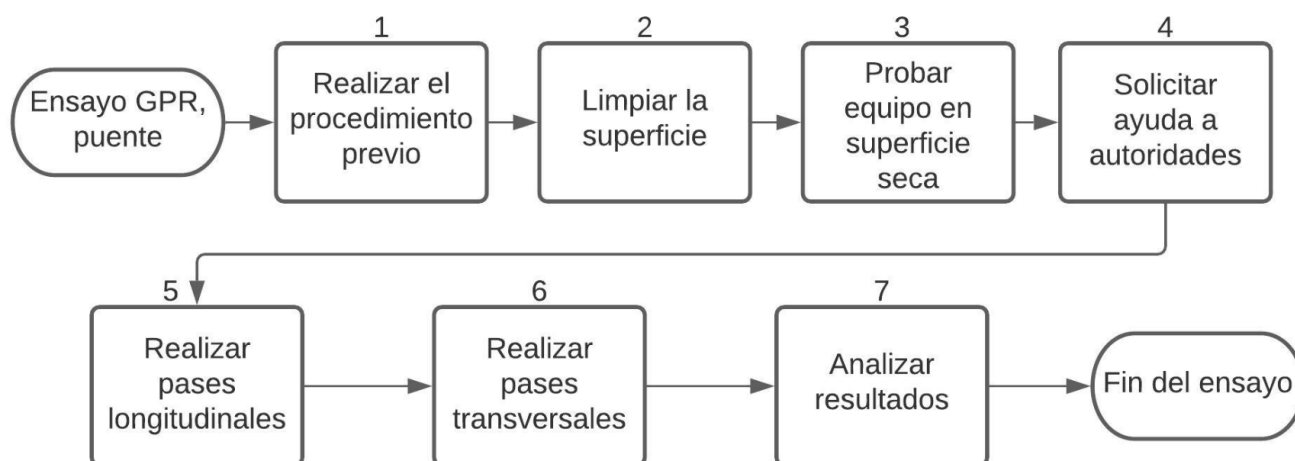


Diagrama de Flujo 3 Procedimiento para evaluación de puentes, ensayo GPR. Fuente: (Autores)



3.3.6.2.3. Diagrama para la evaluación de la estructura del pavimento

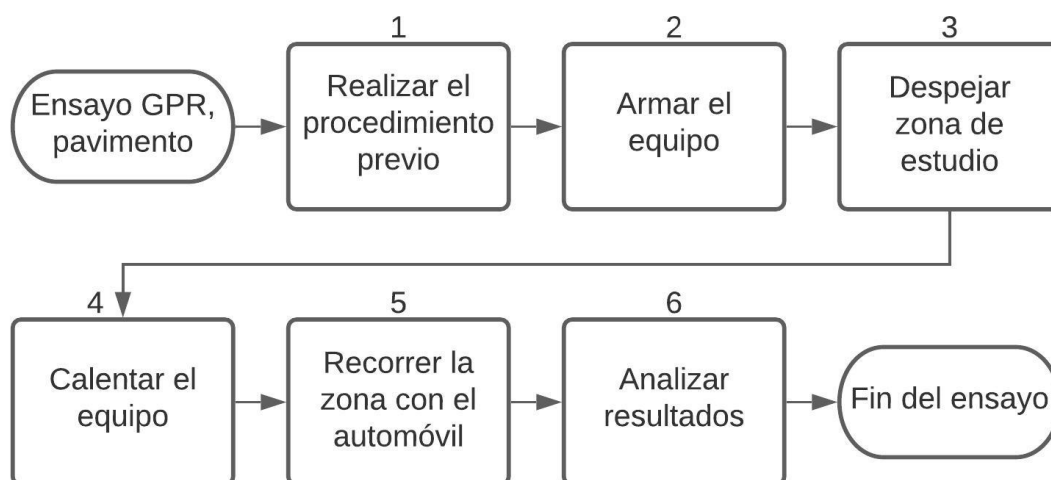


Diagrama de Flujo 4 Procedimiento para evaluación del pavimento, ensayo GPR. Fuente: (Autores)

3.3.7. Análisis de información

3.3.7.1. Velocidad de propagación

El ensayo GPR entrega como resultado un registro de la energía EM [\[7\]](#) que ha sido reflejada de las interfaces entre materiales. Estos reflejos son registrados como una función de viaje en dos direcciones para convertir tiempos bidireccionales a profundidades; para realizar esta conversión es necesario conocer la velocidad de pulso de propagación de ondas EM. La permitividad relativa del material a través del cual se propaga el pulso determina la velocidad de propagación. Por lo tanto, la velocidad de propagación a través del material se aproxima con la siguiente ecuación (ASTM D6432, 2011):

$$V_m = \frac{c}{\sqrt{K}}$$

Ecuación 2 Velocidad de propagación con permitividad conocida, ensayo GPR. Fuente: (Pellicer, 2014)

Donde:

V_m : Velocidad de propagación a través del material. [m/s]

c : Velocidad de propagación en el vacío (3×10^8 m/s).

K : Permitividad relativa.

En la Tabla 26 se indica las permitividades relativas y velocidades de propagación aproximadas, expresada en metros sobre nanosegundos, de varios materiales.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Material	Permitividad relativa (K)	Velocidad de pulso (m/Ns)
Aire	1	0,3
Agua fresca (f,t)	81	0,033
Agua de mar (f,t,s)	70	0,033
Arena seca (d)	4-6	0.15-0.12
Arena saturada (d,w,f)	25	0,055
Limo saturado (d,w,f)	10	0,095
Arcilla saturada	8-12	0.106-0.087
Tierra costera arenosa seca (d)	10	0,095
Agua fresca congelada (f,t)	4	0,15
Permafrost ^[6] (f,t,p)	4-8	0.15-0.106
Granito seco	5	0,134
Caliza seca	7-9	0.113-0.1
Dolomita	6-8	0.122-0.106
Cuarzo	4	0,15
Carbón (d,w,f, contenido de ceniza)	4-5	0.15-0.134
Concreto (w,f, edad)	5-10	0.134-0.095
Asfalto	3-5	0.173-0.134
Hielo marino	4-12	0.15-0.087
PVC, epóxicos, poliésters	3	0,173

Tabla 26 Propiedades electromagnéticas aproximadas para diferentes materiales, ensayo GPR. Fuente: (ASTM D6432, 2011)

La variación de la permitividad relativa y de la velocidad de propagación dependen de los factores en paréntesis junto a cada material. Donde:

d: Función de la densidad.

w: Función de la porosidad y contenido de agua.

f: Función de la frecuencia.

t: Función de la temperatura.

s: Función de la salinidad.

p: Función de la presión.

Habitualmente se desconoce la permitividad relativa, en estos casos se utiliza la siguiente expresión para calcularla velocidad de propagación. Comparando el resultado con los indicados en la Tabla 26 se puede estimar el material donde se está propagando la onda.

$$V_m = \frac{2D}{t}$$

Ecuación 3 Velocidad de propagación con permitividad no conocida, ensayo GPR. Fuente: (ASTM D6432, 2011)

Vigencia desde:	Código	Página 219 de 473
Marzo-2021	END03	



Donde:

V_m : Velocidad de propagación. [m/s]

D : Profundidad medida a la interfaz reflectante. [m]

t : Tiempo de viaje bidireccional de un pulso EM. [s]

3.3.7.2. Interpretación de resultados de referencia

- **Identificación de ductos o tuberías:** Los ductos se identifican como hipérbolas. Las hipérbolas se forman debido al movimiento del frente de onda cuando impacta contra los ductos. Se requiere personal con amplia experiencia para poder identificar el material y el diámetro de la tubería. (J. Suárez, 2020)

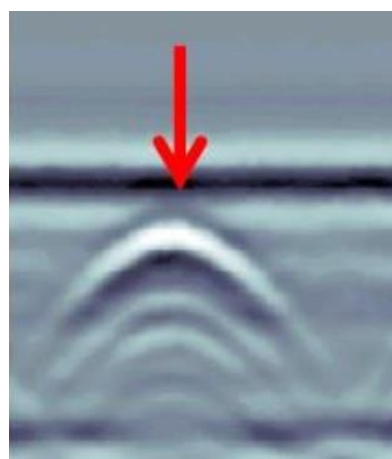
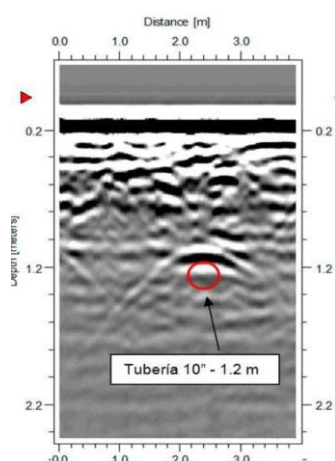
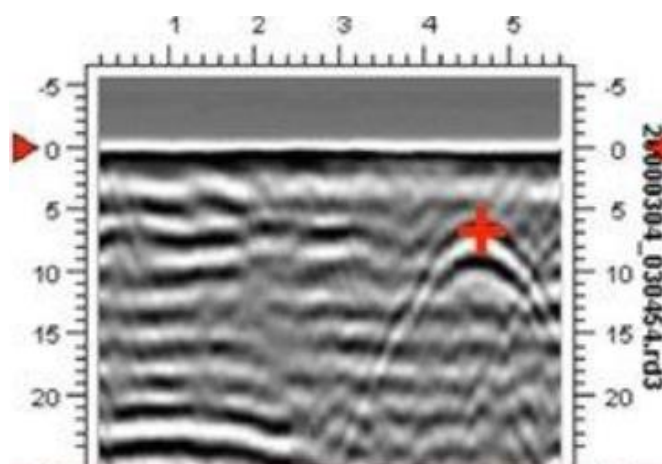
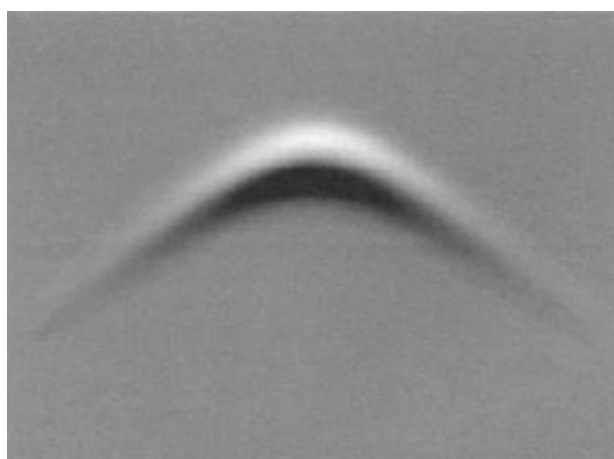
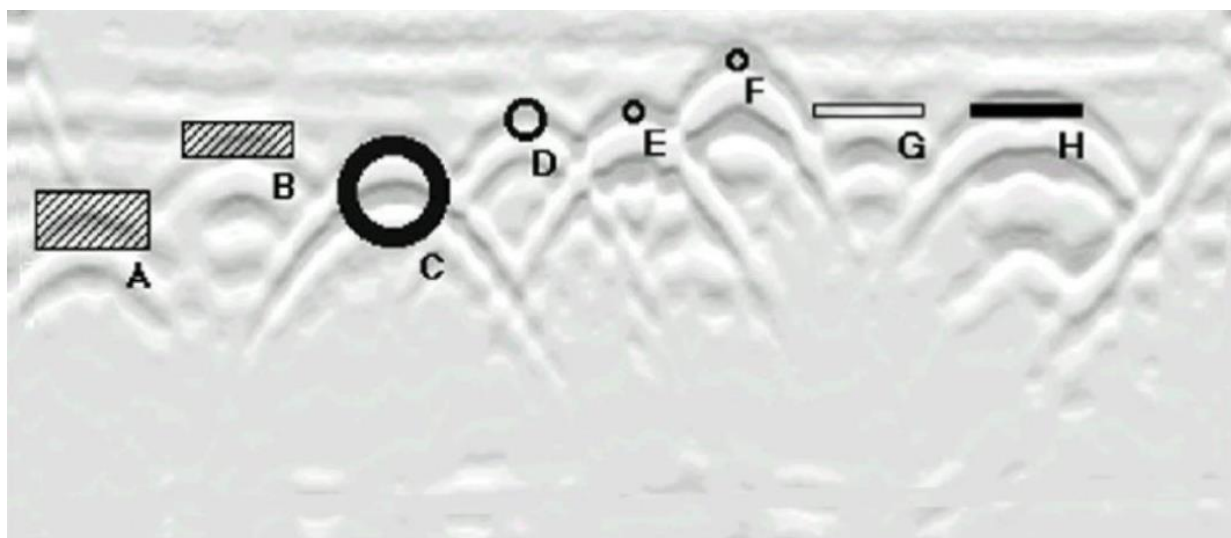
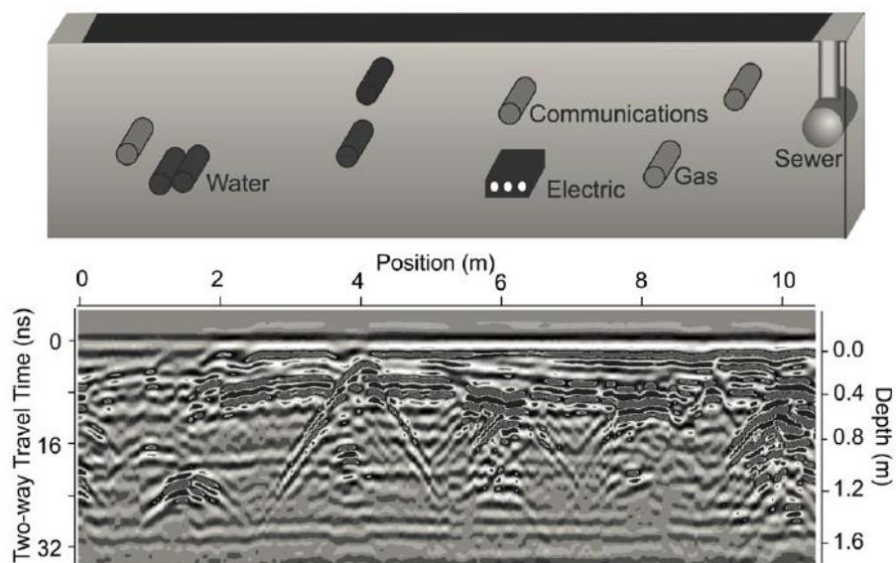


Gráfico 145 Hipérbolas resultantes de GPR para identificación de tuberías, ensayo GPR. Fuente: (J. Suárez, 2020)

Vigencia desde:	Código	Página 220 de 473
Marzo-2021	END03	



- A) Polystyrene disc ø60 cm, H: 30 cm, Appr. depth: 100 cm (top)
B) Polystyrene disc ø60 cm, H: 15 cm, depth: 60 cm (top)
C) Concrete tube ø60 cm, Appr. depth: 100 cm (center)
D) PVC tube ø20 cm, Appr. depth: 60 cm (center)
E) Iron tube ø6.35 cm, Appr. depth: 60 cm (center)
F) Iron tube ø6.35 cm, Appr. depth: 30 cm (center)
G) Wood disc ø60 cm, H: 4 cm, Appr. depth: 60 cm (top)
H) Iron disc ø60 cm, H: 4 cm, Appr. depth: 60 cm (top)

Gráfico 146 Hipérbolas resultantes de GPR, diferentes materiales y diámetros, ensayo GPR. Fuente: (J. Suárez, 2020)



- **Identificación de acero de refuerzo:** En los resultados del radargrama las varillas de refuerzo se localizan en los vértices de cada hipérbola (GSSI, 2011; J. Suárez, 2020). Las hipérbolas, en comparación con las obtenidas por ductos o tuberías, son más pequeñas y continuas entre sí.

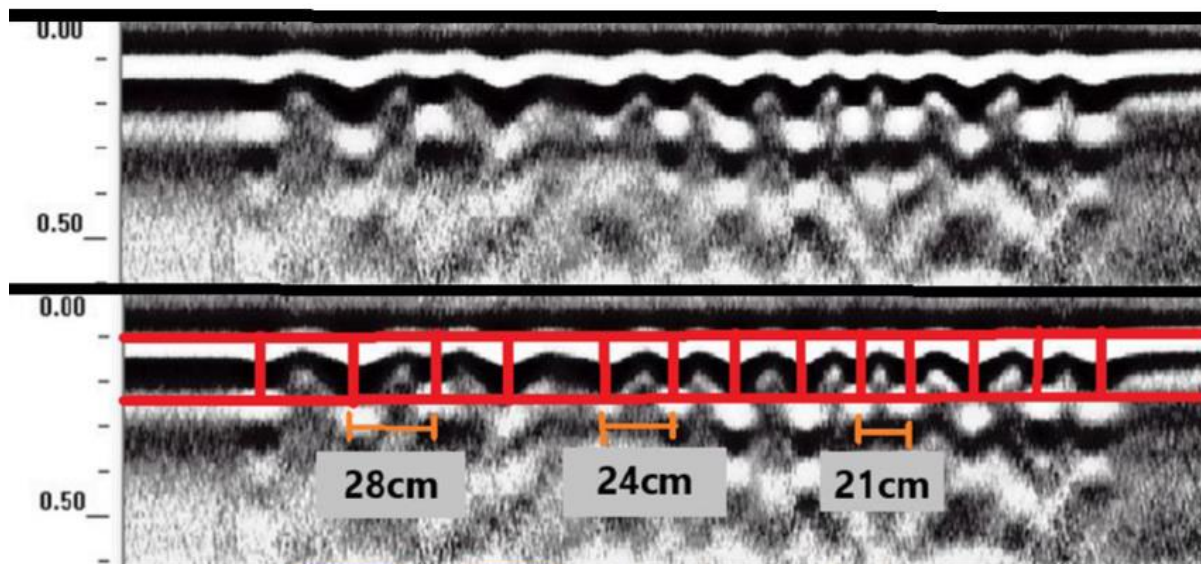


Gráfico 147 Espaciamiento incorrecto en estribos obtenidos mediante GPR, ensayo GPR. Fuente: (Álvarez & Ochoa, 2018)

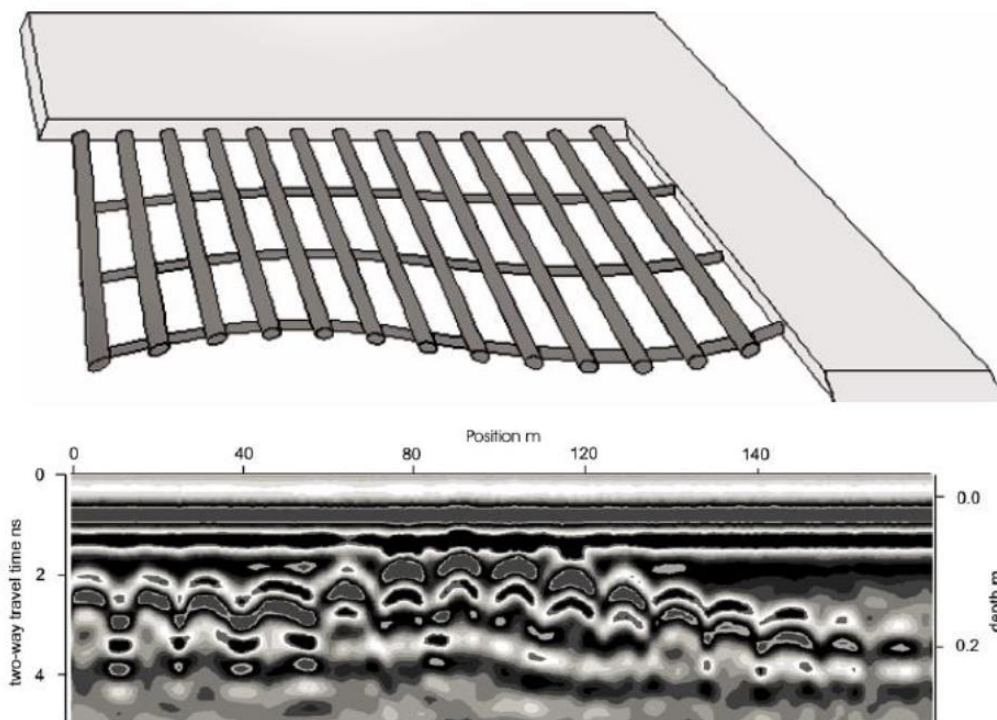


Gráfico 148 Reconocimiento de varillas mediante GPR, ensayo GPR. Fuente: (J. Suárez, 2020)



- **Identificación de corrosión en aceros:** El GPR ayuda a identificar anomalías en las varillas, como falta de continuidad que indica corrosión activa. (Álvarez & Ochoa, 2018; J. Suárez, 2020)

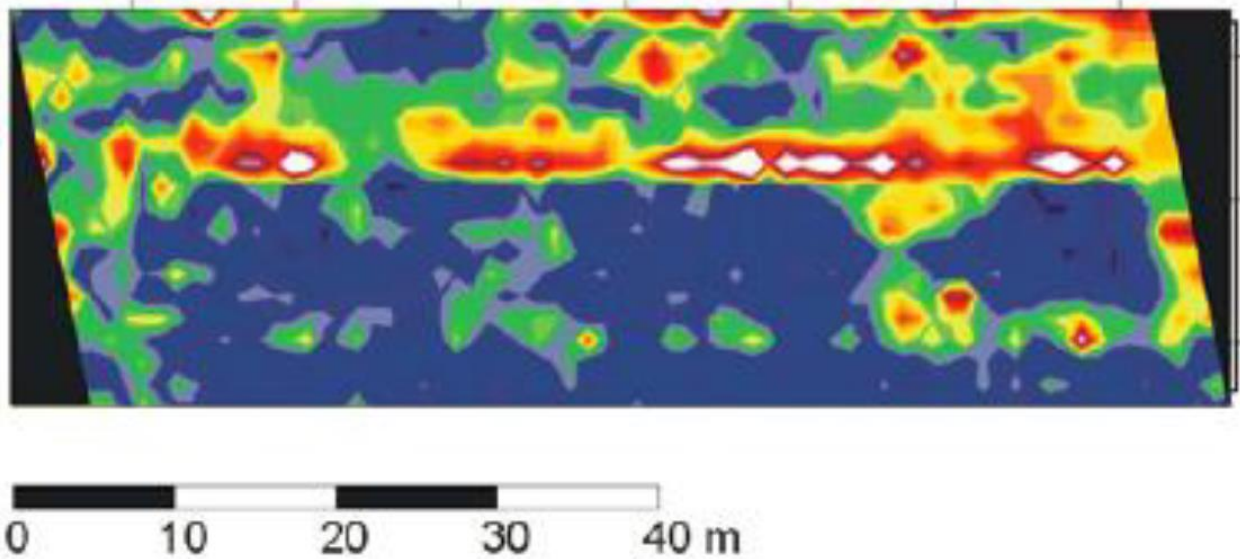


Gráfico 149 Corrosión en varillas, ensayo GPR. Fuente: (J. Suárez, 2020)

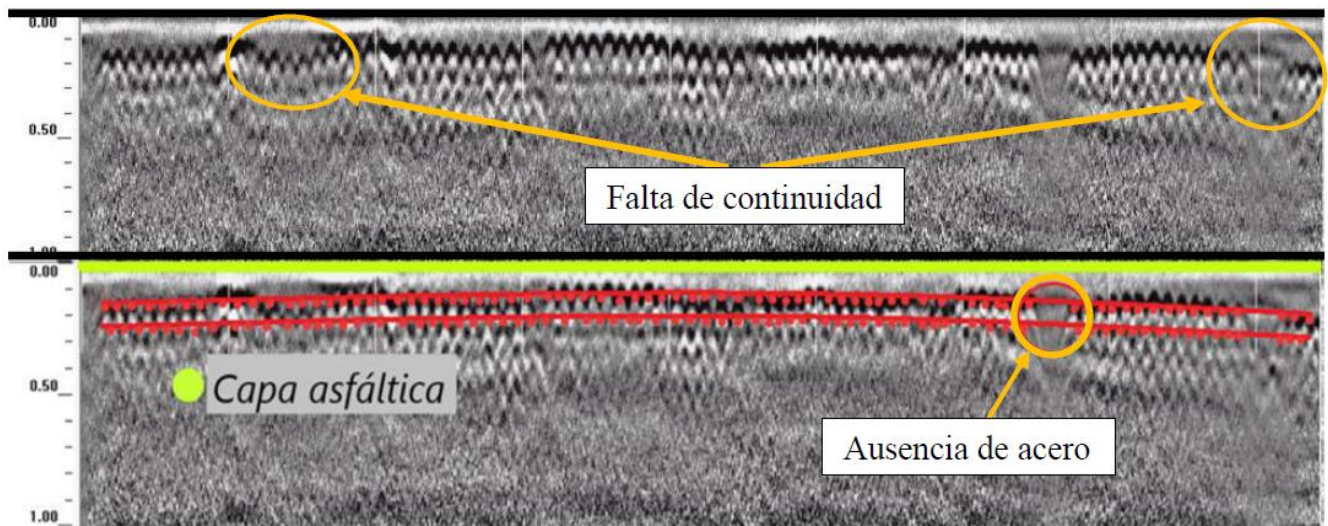


Gráfico 150 Falta de continuidad en armadura, ensayo GPR. Fuente: (Álvarez & Ochoa, 2018)

Vigencia desde:	Código	Página 223 de 473
Marzo-2021	END03	



- **Identificación de estructuras de pavimentos:** Con ayuda del GPR es posible localizar las diferentes capas de la estructura de los pavimentos y tener una idea de la calidad del mismo.

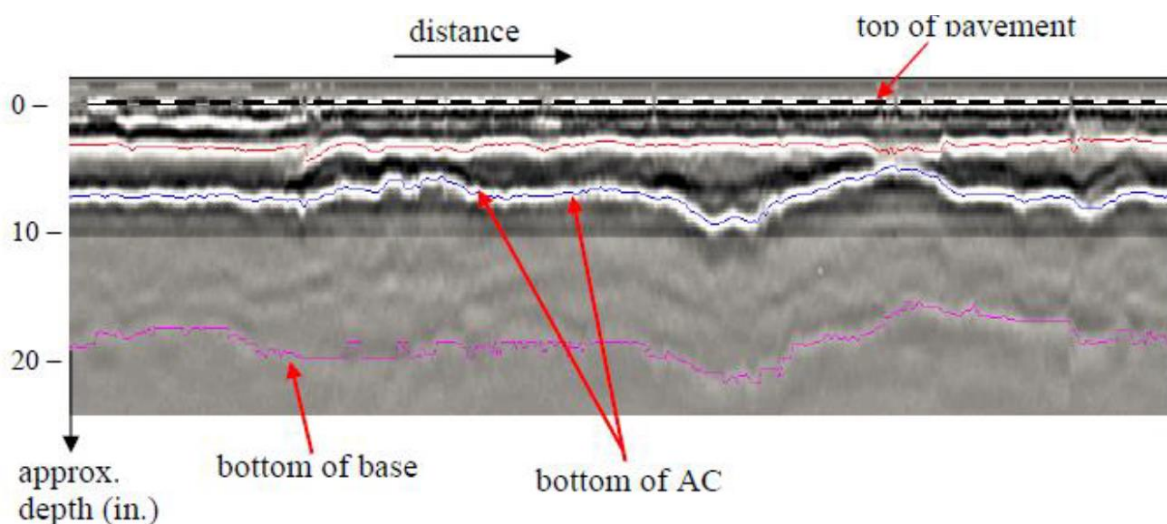


Gráfico 151 Espesor de capa asfáltica, ensayo GPR. Fuente: (J. Suárez, 2020)

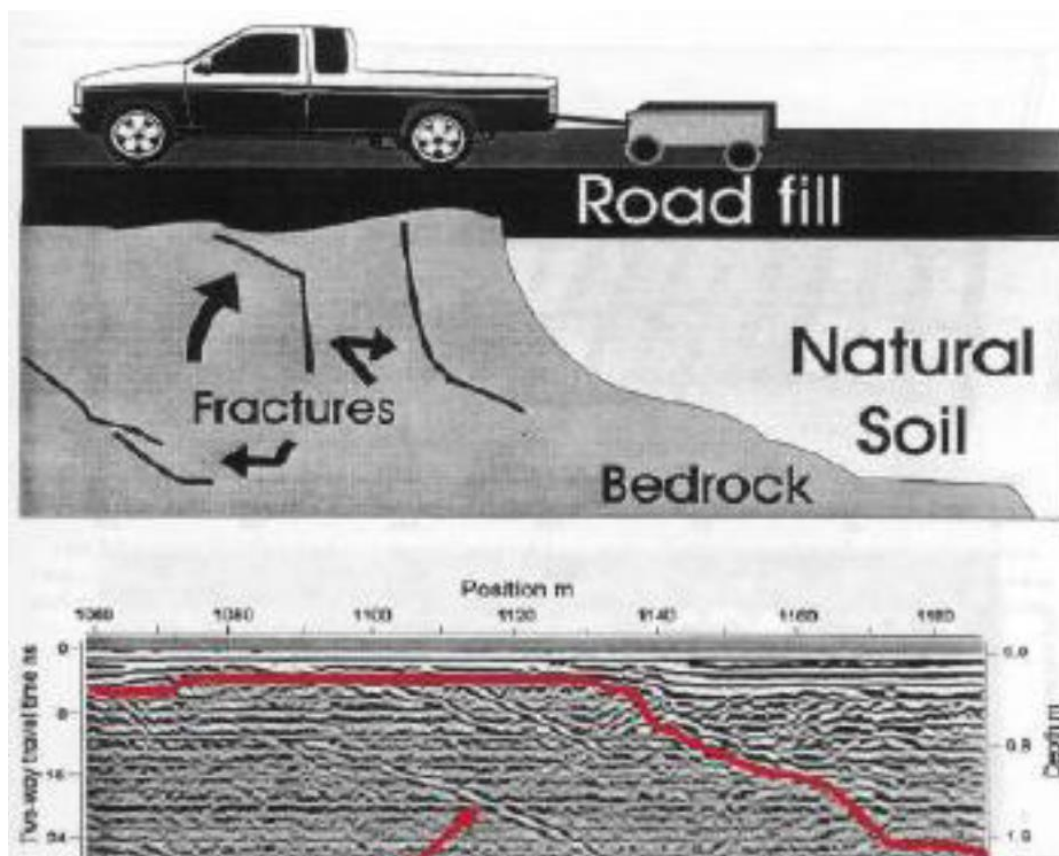


Gráfico 152 Identificación de capas, ensayo GPR. Fuente: (J. Suárez, 2020)



3.3.8. Glosario

- ^[1] Propagación en el vacío: No tiene interferencia.
- ^[2] HF: High Frequency.
- ^[3] VHF: Very High Frequency.
- ^[4] UHF: Ultra High Frequency.
- ^[5] Odómetros: es un instrumento de medición que mide la distancia recorrida por un objeto móvil.
- ^[6] Permafrost: es una capa de suelo permanentemente congelado.
- ^[7] EM: Electromagnética.



3.3.9. Bibliografía

- ACI 228.2R. (1998). Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures. Manual of Concrete Practice, 98(Reapproved), 62.
- Aguilera, C. (2013). Aproximación del GPR (Ground Penetrating Radar) como ensayo para estimar el estado estructural de un pavimento bituminoso. Recuperado de: <https://core.ac.uk/display/41812590>
- Álvarez, S., & Ochoa, C. (2018). Evaluación Estructural y Funcional Mediante Métodos Semi-Destructivos y no Destructivos: Caso de Estudio del Puente Sobre el Río Tomebamba, en la Av. Unidad Nacional Cuenca – Ecuador. Trabajo de Titulación Previo a La Obtención Del Título de Ingeniero Civil. Santiago, 1(5), 1–127. Recuperado de: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30320>
- ASTM D4748. (2010). Standard Test Method for Determining the Thickness of Bound Pavement Layers Using Short-Pulse Radar. American Society for Testing and Materials. Recuperado de: <https://www.astm.org/Standards/D4748.htm>
- ASTM D6087. (2008). Standard Test Method for Evaluating Asphalt-Covered Concrete Bridge Decks Using Ground Penetrating Radar. American Society for Testing and Materials. Recuperado de: <https://www.astm.org/Standards/D6087.htm>
- ASTM D6432. (2011). Standard Guide for Using the Surface Ground Penetrating Radar Method for Subsurface Investigation. American Society for Testing and Materials, 99(Reapproved), 1–17. Recuperado de: <https://doi.org/10.1520/D6432-11.2>
- Gehrig, M. D., Morris, D. V, & Bryant, J. T. (2004). Ground Penetrating Radar for Concrete Evaluation Studies. 1–17. Recuperado de: http://foundationperformance.org/pastpresentations/gehrig_paper_march2004.pdf
- Germann Instruments inc. (n.d.). Conquest™ GPR. Recuperado de: <http://germann.org/wp-content/uploads/2016/06/Conquest-GPR.pdf>
- GPR training courses. (n.d.). GPR Antennas. Recuperado de: <https://gprtrainingcourses.com/gpr-limitations-considerations/gpr-antennas/>
- GSSI. (n.d.). Our Past, Present and Future: GPR Antennas. Recuperado de: <https://www.geophysical.com/antennas>
- GSSI. (2011). How to: Locate Rebar in Concrete using Ground Penetrating Radar. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=hyFT-hs41T8>
- GSSI. (2015). Sir 4000 Manual. Recuperado de: http://userpage.fu-berlin.de/geodyn/instruments/Manual_GSSI_SIR4000.pdf
- María Veloz. (2014). Evaluación y Diseño de pavimentos por el método no destructivo - Georadar (GPR) y Deflectómetro de la antigua vía a Conocoto. UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA CARRERA. Recuperado de: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2930>
- Pellicer, V. (2014). Ensayos no destructivos en hormigón. Georadar y ultrasonidos. Recuperado de: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/35207/PROYECTO%20DEFINITIVO.pdf?sequence=1>
- Suárez, J. (2020). Interpretación de resultados de GPR - Georadar. Las Técnicas Geofísicas En El Análisis de Geotecnia. Recuperado de: <http://www.erosion.com.co/60-cursos/las-tecnicas-geofisicas-en-el-analisis-de-geotecnia/204-interpretacion-de-resultados-gpr-georadar.html>



UNIVERSIDAD DE CUENCA

3.4. ENSAYO DE TERMOGRAFÍA INFRARROJA END04

Vigencia desde:

Marzo-2021

Código

END04

Página **227** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Contenido

3.4.	ENSAYO DE TERMOGRAFÍA INFRARROJA.....	227
3.4.1.	Objetivo.....	229
3.4.2.	Normas.....	229
3.4.3.	Usos.....	229
3.4.4.	Alcance.....	229
3.4.4.1.	Consideraciones previas antes de realizar el ensayo.....	229
3.4.5.	Materiales y Equipo.....	231
3.4.5.1.	Cámara termográfica.....	231
3.4.5.2.	Termohigrómetro.....	232
3.4.5.3.	Software.....	232
3.4.5.4.	Elementos para contrarrestar parámetros que influyen en las medidas	233
3.4.6.	Procedimiento.....	233
3.4.6.1.	Procedimiento del ensayo.....	233
3.4.6.2.	Procedimiento para la compensación de imágenes térmicas	233
3.4.6.2.1.	Temperatura de objetos de emisividad desconocida.....	234
3.4.6.2.2.	Determinación del valor de emisividad de objetos	234
3.4.6.2.3.	Determinación de la temperatura aparente reflejada	234
3.4.6.3.	Diagrama de flujo	235
3.4.7.	Análisis de información	235
3.4.7.1.	Termografías de referencia	235
3.4.8.	Glosario	238
3.4.9.	Bibliografía	239

Vigencia desde:

Marzo-2021

Código

END04

Página **228** de **473**



3.4.1. Objetivo

Es un ensayo no destructivo y no invasivo que se ha utilizado para análisis y control de la calidad de edificaciones, consiguiendo resultados satisfactorios. La termografía infrarroja es una técnica utilizada para medir temperaturas sin contactos directos, captando la intensidad de la radiación infrarroja emitida por los cuerpos. El ojo humano es limitado y no puede apreciar estas radiaciones, por lo tanto, se necesitan cámaras especiales capaces de registrar las radiaciones que quedan fuera del espectro electromagnético de visión ^[1] y transformar los infrarrojos en imágenes. (Ipecontrol, 2019; Rocha & Póvoas, 2017)

3.4.2. Normas

- ASTM C1060
- UNE-EN 13187
- ASTM D4788
- ACI 228.2R

3.4.3. Usos

La termografía infrarroja tiene varios usos dentro del campo de la evaluación de la edificación (ASTM C1060, 2003; De la Torre, 2011; Palma Sellés, 2015):

- Análisis energético de la envolvente ^[2] de los edificios.
- Localización de puentes térmicos ^[3].
- Detección de patologías en la edificación como grietas, filtraciones de agua, pérdida o acumulación de calor, puntos de humedad, fugas de aire, variaciones de densidad en el aislamiento, entre otros.
- Inspección de instalaciones: eléctricas, de climatización y de tuberías.
- Control de calidad durante la ejecución de la obra.

3.4.4. Alcance

Es un método de ensayo fácil de utilizar, es rápido, permite inspeccionar grandes áreas en poco tiempo, no requiere de contacto físico (permitiendo obtener información de lugares de difícil acceso), se obtienen resultados fáciles y de rápida interpretación. El equipo es simple debido a que está compuesto por una cámara termográfica, el apoyo de la cámara y una salida de video para obtener las imágenes térmicas. El equipo, dependiendo del modelo, puede ser caro. Sin embargo, no es capaz de detectar la profundidad de los defectos, grietas o anomalías del hormigón. Las condiciones ambientales influyen negativamente y en gran escala al ensayo. Las condiciones que afectan son radiación solar, humedad, temperatura ambiente, viento y emisividad ^[4] de la superficie. (Rocha & Póvoas, 2017).

3.4.4.1. Consideraciones previas antes de realizar el ensayo

Según la norma UNE-EN 13187 (1998) se deben realizar actividades previas que permitan conocer más información sobre las características de la fachada a ensayar, estas son:

Vigencia desde:	Código	Página 229 de 473
Marzo-2021	END04	



UNIVERSIDAD DE CUENCA

- Recopilación de planos relacionados con la fachada del edificio, detalles de los materiales y el tipo de aislamiento; información sobre el sistema de calefacción y/o enfriamiento del edificio.
- Obtención de termogramas de referencia o de tipologías de fachada similares a la que se va a ensayar.
- Condiciones exteriores e interiores que pueden afectar la inspección.

Además, esta norma recomienda:

- Realizar una inspección al menos 24h antes del inicio de la prueba y verificar que la temperatura no varíe más de $\pm 10^{\circ}\text{C}$ hasta el momento de iniciar el ensayo.
- Durante por lo menos 12 horas antes del comienzo del ensayo y durante el mismo, las superficies de la fachada no deben estar expuestas a radiación solar. Entonces, lo recomendado es realizar las inspecciones termográficas a primera hora en la mañana o antes de que salga el sol.
- Durante la inspección, la temperatura del aire exterior no debe variar más de $\pm 5^{\circ}\text{C}$ y la interior no más de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ con respecto a sus valores iniciales. Esto se puede comprobar tomando mediciones de temperatura al inicio y al final del ensayo.

Adicionalmente se debe tomar en cuenta las siguientes recomendaciones y consideraciones previas al ensayo (Melgosa Revillas, 2011; Palma Sellés, 2015):

- La diferencia de temperatura en la envolvente debe ser lo suficientemente amplia para detectar irregularidades térmicas; las diferencias se captan generalmente cuando son mayores a 10°C .
- No es aconsejable realizar inspecciones termográficas a más de 20 m de distancia, debido a que la resolución puede disminuir excesivamente.
- Se debe realizar termografías con un ángulo aproximado, con respecto a la superficie u objeto de análisis, entre 5° y 60° como se muestra en el Gráfico 153, con el objetivo de minimizar efectos de reflexión de objetos indeseados.

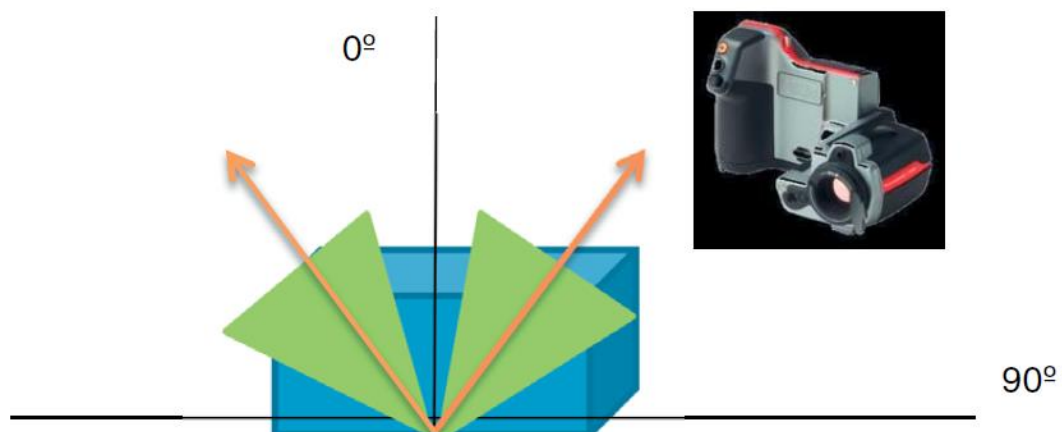


Gráfico 153 Ángulo recomendado para captar termografías infrarrojas, ensayo termografía infrarroja. Fuente: (Melgosa Revillas, 2011)

- Se debe verificar el correcto funcionamiento de la cámara termográfica y restaurar los valores predeterminados para eliminar cualquier error de configuración existente.

Vigencia desde:	Código	Página 230 de 473
Marzo-2021	END04	



- Llevar instrumentos complementarios que permitan medir factores que influyen en la medida durante la inspección; como por el ejemplo, un termohigrómetro (Gráfico 155) que permite medir la temperatura exterior e interior, humedad relativa, y velocidad del viento.
- Se debe localizar la ubicación de elementos estructurales incluidos en la envolvente (Columnas, muros, vigas, entre otros) que pueden ocasionar puentes térmicos.
- Conocer parámetros como la emisividad de los materiales cercanos a la superficie de ensayo, temperatura aparente reflejada [\[5\]](#), distancia al objeto, humedad relativa y temperatura ambiente para compensar algunos errores mediante un software; puesto que estos valores influyen en los datos de temperaturas que se obtienen durante la inspección. Los valores de emisividad de los materiales se pueden obtener de tablas pertinentes, sin embargo, esto no es recomendable debido a que las tablas son para materiales estándar y los materiales presentes en la estructura pudieron tener en su historia problemas como oxidación, pulido, desgaste. La compensación de imágenes térmicas se indica más adelante en la sección 3.4.6.2.
- Estar al tanto de la orientación de fachadas e información del soleamiento incidente en ellas.
- Comprobar accesibilidad a las diferentes zonas de la edificación, planificar recorrido y horas de inspección.

3.4.5. Materiales y Equipo

3.4.5.1. Cámara termográfica

Las partes que al menos deben poseer las cámaras termográficas para una correcta inspección son (UNE-EN 13187, 1998):

- Sensor de radiación infrarroja que trabaje a una longitud de onda entre 2 y 12 μm , para detectar una temperatura de radiación aparente de interés con suficiente resolución.
- Pantalla que permita la visibilidad y representación de la imagen térmica de la superficie en análisis.
- Dispositivo que almacena las imágenes térmicas y datos digitales sobre las medidas.
- Un medio para establecer los niveles de temperatura en la superficie a inspeccionar.



Gráfico 154 Cámara Termográfica Flir T640 para tareas de mantenimiento predictivo, ensayo termografía infrarroja. Fuente: (FLIR Systems, 2011)

Además, si se desea obtener una cámara ya sea por inversión propia del evaluador o en alquiler se deben evaluar seis requisitos esenciales (FLIR Systems, 2011):

Vigencia desde:	Código	Página 231 de 473
Marzo-2021	END04	



UNIVERSIDAD DE CUENCA

- **Calidad de la imagen:** Los modelos básicos más económicos tienen una resolución de 60 x 60 píxeles, mientras que los modelos de alta gama poseen una resolución de 640 x 480 píxeles; éstas últimas ofrecen una calidad de imagen superior para inspecciones más avanzadas.
- **Sensibilidad térmica:** Define la magnitud de una diferencia de temperatura que la cámara puede detectar. Mientras menor la diferencia de temperatura que puede captar, mejor sensibilidad térmica.
- **Precisión:** El rango de precisión generalmente está entre $\pm 2^\circ\text{C}$.
- **Funciones de la cámara:** Se debe asegurar que la cámara permita al usuario definir la emisividad y la temperatura aparente reflejada, ya que son parámetros importantes en las inspecciones de edificaciones. Algunas cámaras poseen alarmas de condensación, alarmas de humedad relativa, alarmas de aislamiento, GPS, entre otros.
- **Software:** Generalmente está incluido en la compra de la cámara termográfica, estos programas ayudan a un mejor análisis de la temperatura como se indica en la sección 3.4.5.3.
- **Demandas de formación:** Es importante capacitarse para usar correctamente la cámara termográfica y aprovechar todas sus aplicaciones.

Es recomendable contar con un trípode para asentar la cámara, este ayuda a eliminar el temblor del pulso y permite realizar termografías con mayor nitidez. (Palma Sellés, 2015)

3.4.5.2. Termohigrómetro

Es una herramienta adicional que sirve para medir parámetros in situ como la velocidad del viento, humedad, temperatura del aire, temperatura del agua, punto de rocío, presión barométrica entre otros. Se puede utilizar una herramienta distinta pero que cumpla funciones parecidas.



Gráfico 155 Termohigrómetro Kestrel 4000, ensayo termografía infrarroja. Fuente: (Kestrel Meters, 2020)

3.4.5.3. Software

Es importante asegurarse que la cámara termográfica incluya un software que permita el análisis de termografías y creación de informes de inspección. Los principales softwares son FLIR BuildIR, FLIR Reporter, FLIR QuickReport, FLIR QuickPlot; dichos softwares deben incluir las siguientes funciones (FLIR Systems, 2011):

Vigencia desde:	Código	Página 232 de 473
Marzo-2021	END04	



- Diseño flexible para informes personalizados.
- Herramientas para análisis de temperatura.
- Funciones que permitan mover, cambiar de tamaño y escalar imágenes.
- Creación de fórmulas mediante valores de medición termográficos.
- Reproducción de secuencias radiométricas.
- Herramienta panorámica, que permite la combinación de imágenes.

3.4.5.4. Elementos para contrarrestar parámetros que influyen en las medidas

Existen varios materiales que se pueden utilizar para compensar las imágenes térmicas obtenidas con el equipo, es recomendable utilizar materiales con emisividad conocida, por ejemplo: cartones, cinta aislante y papel aluminio. (Melgosa Revillas, 2011; Palma Sellés, 2015)

3.4.6. Procedimiento

3.4.6.1. Procedimiento del ensayo

- 1) Realizar una inspección preliminar, al menos 24h antes del ensayo. Se debe medir la temperatura, planificar la hora y lugares donde se realizará el ensayo, revisar orientación de fachadas e información del soleamiento, de ser posible, recopilar información sobre el edificio (sección 3.4.4.1).
- 2) Retirar el mobiliario de las paredes exteriores y quitar las cortinas, al menos 6h antes del ensayo. Para que las propiedades aislantes de los muebles no influyan en las lecturas. (FLIR Systems, 2011)
- 3) Verificar el correcto funcionamiento de la cámara, comprobando baterías y tarjetas de memoria.
- 4) Medir la temperatura inicial del interior y exterior de la estructura.
- 5) Comprobar que la temperatura desde la inspección hasta el inicio del ensayo no varíe más de $\pm 10^{\circ}\text{C}$. (UNE-EN 13187, 1998)
- 6) Comparar la temperatura interior y la exterior para asegurarse que la diferencia de temperatura (10°C) es suficiente para realizar la inspección. (FLIR Systems, 2011; Melgosa Revillas, 2011)
- 7) Limpiar las superficies a medir. El polvo o escarcha acumulados provocarán que la cámara mida la superficie de esta capa. (De la Torre, 2011)
- 8) Buscar factores que afecten las imágenes térmicas. En caso de existir remitirse a la sección 3.4.6.2.
- 9) Comenzar la inspección termográfica desde el exterior, de preferencia en las primeras horas de la mañana. Analizar las superficies de interés desde un ángulo lo más cercano posible a la superficie. Realizar las inspecciones desde dos ángulos oblicuos opuestos para detectar la presencia de radiación reflejada. (ASTM C1060, 2003)
- 10) Continuar la inspección termográfica en el interior. Tomando en cuenta las recomendaciones del paso 9.
- 11) Medir la temperatura final del interior y exterior.
- 12) Comprobar que la temperatura exterior no varíe en $\pm 5^{\circ}\text{C}$ y la temperatura interior en $\pm 2^{\circ}\text{C}$. (UNE-EN 13187, 1998)

3.4.6.2. Procedimiento para la compensación de imágenes térmicas

Como se mencionó anteriormente, existen parámetros que influyen en las medidas (emisividad, temperatura aparente reflejada, humedad relativa y temperatura ambiente) estos factores se pueden compensar posteriormente con el Software. Sin embargo, existen técnicas durante la inspección que sirven para

Vigencia desde:	Código	Página 233 de 473
Marzo-2021	END04	



contrarrestar o conocer los datos necesarios para poder compensarlos. (Melgosa Revillas, 2011; Palma Sellés, 2015)

3.4.6.2.1. Temperatura de objetos de emisividad desconocida

Existen elementos comunes que poseen un valor bajo de emisividad y que reflejan mucho, por ejemplo, el vidrio y los metales pulidos. Para compensar el dato de emisividad de estos elementos en la cámara termográfica se debe conocer la temperatura exacta del objeto; para esto se debe realizar el siguiente procedimiento (Melgosa Revillas, 2011; Palma Sellés, 2015):

- 1) Medir la temperatura atmosférica y la humedad relativa con el termohigrómetro e introducir los datos obtenidos en los parámetros de la cámara o posteriormente en el software respectivo.
- 2) Pegar un trozo de cinta aislante negra de emisividad conocida (generalmente de $\varepsilon = 0.96$) sobre el objeto a estudiar y esperar unos minutos hasta que la cinta alcance la temperatura del objeto.
- 3) Enfocar la cámara sobre la superficie donde se ha colocado la cinta aislante y capturar una imagen.
- 4) Introducir la emisividad ($\varepsilon = 0.96$) y la distancia al objeto en los parámetros de la cámara.
- 5) Medir la temperatura superficial sobre la cinta ya sea en el software o en la cámara, el valor obtenido será la temperatura real del objeto en estudio.

3.4.6.2.2. Determinación del valor de emisividad de objetos

- 1) Medir la temperatura atmosférica y la humedad relativa con el termohigrómetro e introducir los datos obtenidos en los parámetros de la cámara.
- 2) Realizar la medición de la temperatura real del objeto como se indicó en la sección 3.4.6.2.1.
- 3) Seleccionar un área sobre el objeto a estudiar en el que no se haya colocado cinta aislante y medir la temperatura.
- 4) Cambiar el valor de emisividad en los parámetros de la cámara o el software hasta que la temperatura sea igual a la medida anteriormente en la cinta aislante. Cuando esto se cumpla, la emisividad será la real del objeto.

3.4.6.2.3. Determinación de la temperatura aparente reflejada

Es recomendable minimizar o eliminar la temperatura aparente reflejada de los objetos del entorno. Esto se puede eliminar sencillamente cubriendo los objetos con cartón, de esta manera se evita que estos cuerpos emitan radiación. Para conocer la temperatura aparente reflejada se debe seguir el siguiente procedimiento:

- 1) Medir la temperatura atmosférica y la humedad relativa con el termohigrómetro e introducir los datos obtenidos en los parámetros de la cámara.
- 2) Colocar en el mismo plano el objeto a estudiar y un reflector (Papel aluminio).
- 3) Enfocar la cámara sobre el reflector y capturar una imagen.
- 4) Ajustar los parámetros de la cámara; para la emisividad colocar un valor de 1 y para la distancia un valor de 0 m.
- 5) Medir la temperatura sobre varios puntos del reflector y tomar un promedio.
- 6) La temperatura que se obtiene es la temperatura aparente reflejada, este dato se debe introducir en los parámetros de la cámara para obtener una inspección con medidas precisas.

Vigencia desde:	Código	Página 234 de 473
Marzo-2021	END04	



3.4.6.3. Diagrama de flujo

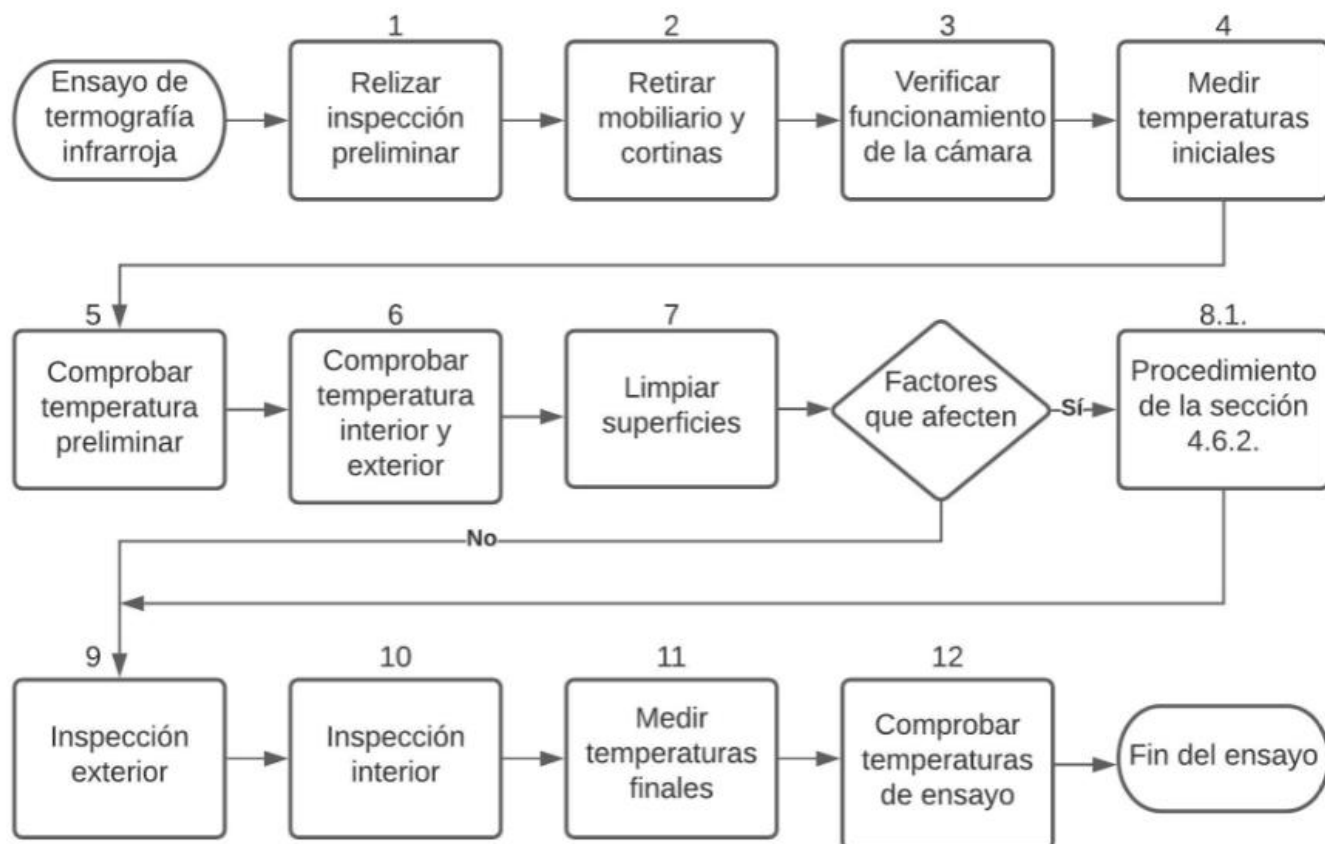


Diagrama de Flujo 5 Procedimiento para Termografía infrarroja. Fuente: (Autores)

3.4.7. Análisis de información

Se pueden realizar dos tipos de análisis. (Melgosa Revillas, 2011; Rocha & Póvoas, 2017)

Análisis cualitativo: Es el más usado en las inspecciones termográficas; es un análisis basado en las temperaturas aparentes de los objetos en estudio, no necesita una medición exacta de la temperatura, solo temperaturas relativas para interpretar los resultados de forma más rápida; este análisis puede tener fallas de precisión.

Análisis cuantitativo: Es un procedimiento más riguroso, consiste en obtener las temperaturas de los objetos con precisión; se basa en las temperaturas reales con las compensaciones indicadas en la sección 3.4.6.2.

3.4.7.1. Termografías de referencia

A continuación, se indican termografías realizadas para tener una guía de reconocimiento de los problemas que se puedan presentar en la estructura.

Vigencia desde:	Código	Página 235 de 473
Marzo-2021	END04	



UNIVERSIDAD DE CUENCA

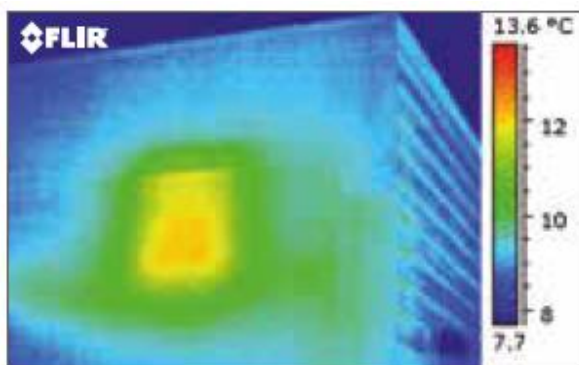


Gráfico 156 Edificio más cálido en el interior; falta de aislamiento; ensayo termografía infrarroja. Fuente: (FLIR Systems, 2011)



Gráfico 157 Falta de aislamiento en algunas secciones, ensayo termografía infrarroja. Fuente: (FLIR Systems, 2011)

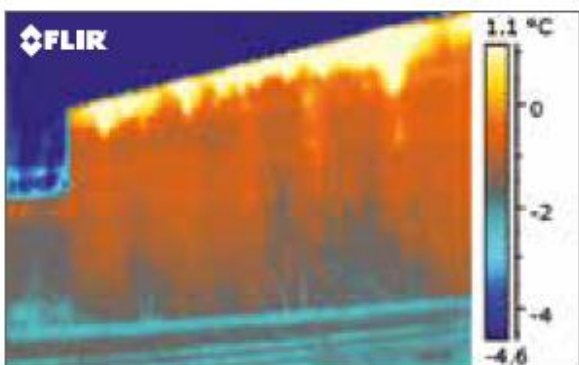


Gráfico 158 Aire caliente saliendo entre la pared y el tejado, deben ajustarse las uniones; ensayo termografía infrarroja. Fuente: (FLIR Systems, 2011)

Vigencia desde:

Marzo-2021

Código

END04

Página **236** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

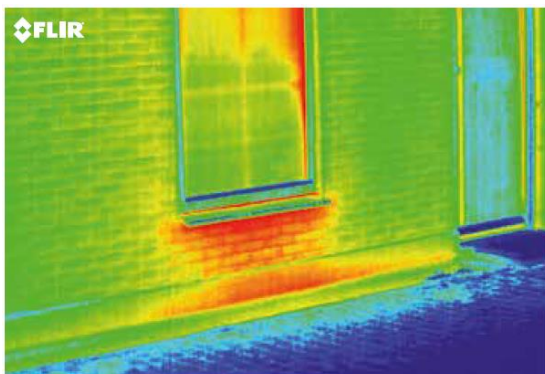


Gráfico 159 Aislamiento insuficiente en el muro; debajo de la ventana, ensayo termografía infrarroja. Fuente: (FLIR Systems, 2011)

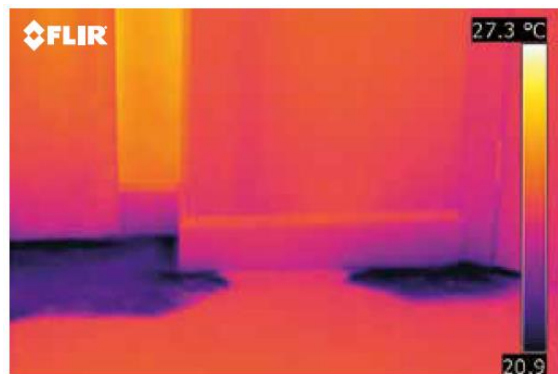


Gráfico 160 Filtración de humedad en el suelo, ensayo termografía infrarroja. Fuente: (FLIR Systems, 2011)

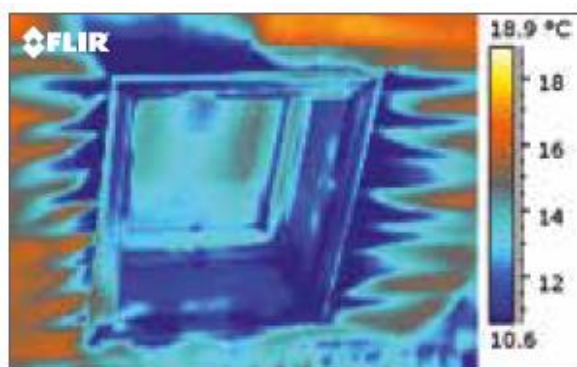


Gráfico 161 Fugas de aire entre el techo y la ventana, ensayo termografía infrarroja. Fuente: (FLIR Systems, 2011)

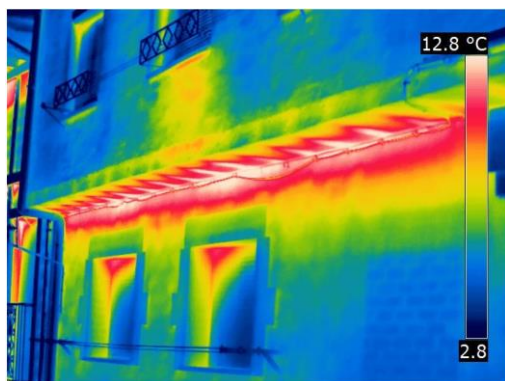


Gráfico 162 Puente térmico en balcón, ensayo termografía infrarroja. Fuente: (Termagraf)



Gráfico 163 Puente térmico entre las vigas del techo, ensayo termografía infrarroja. Fuente: (FLIR Systems, 2011)

Vigencia desde:

Marzo-2021

Código

END04

Página 237 de 473



UNIVERSIDAD DE CUENCA

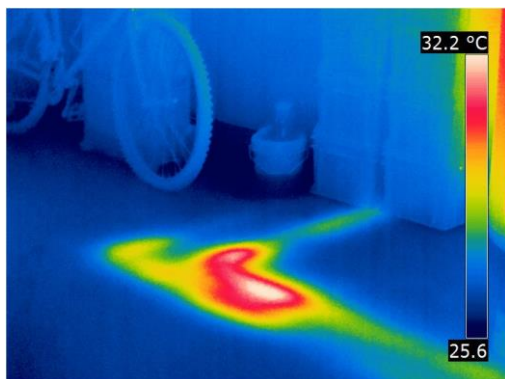


Gráfico 164 Fuga de agua, ensayo termografía infrarroja.
Fuente: (Termagraf)



Gráfico 165 Vista de los paneles que cubren la estructura, ensayo termografía infrarroja. Fuente: (FLIR Systems, 2011)

3.4.8. Glosario

- ^[1] Electromagnético de visión: Electromagnético es el rango de todos los tipos de radiación electromagnética clasificados por longitud de onda. El rango visible se indica en el Gráfico 166.

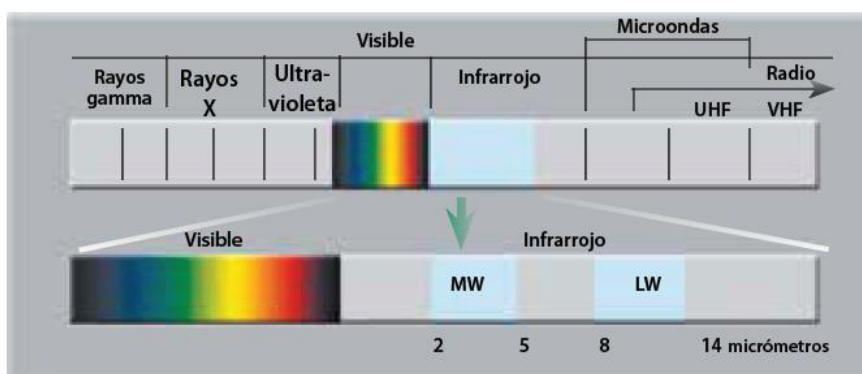


Gráfico 166 Espectro electromagnético de visión, ensayo termografía infrarroja. Fuente: (FLIR Systems, 2011)

- ^[2] Envoltente: Es el conjunto de todos los cerramientos exteriores de un edificio, es decir los muros exteriores con ventanas y puertas, los techos y los pisos.
- ^[3] Puentes térmicos: Es una zona en la que el envoltente del edificio tiene una resistencia térmica menor. El calor seguirá la ruta más fácil desde el espacio caliente al exterior. (FLIR Systems, 2011)
- ^[4] Emisividad: Es la capacidad que tiene un cuerpo para emitir infrarrojos, depende de las propiedades de los materiales. (FLIR Systems, 2011)
- ^[5] Temperatura aparente reflejada: Es la temperatura aparente de los cuerpos que se reflejan en el que se está midiendo, por estar cerca de él. (Melgosa Revillas, 2011)

Vigencia desde:	Código	Página 238 de 473
Marzo-2021	END04	



3.4.9. Bibliografía

- ACI 228.2R. (1998). Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures. Manual of Concrete Practice, 98(Reapproved), 62.
- ASTM C1060. (2003). Standard Practice for Thermographic Inspection of Insulation Installations in Envelope Cavities of Frame Buildings. System, 04(Reapproved), 1–6.
- ASTM D4788. (2003). Standard Test Method for Detecting Delaminations in Bridge Decks Using Infrared Thermography. American Society for Testing and Materials. Recuperado de: <https://www.astm.org/Standards/D4788.htm>
- De la Torre, A. (2011). Optimización de la transmisión de calor en el hueco del cerramiento a través de jambas, dintel y alféizar, evaluando su comportamiento mediante métodos no destructivos. In TRABAJO FIN DE MÁSTER. Recuperado de: http://oa.upm.es/9486/2/TESIS_MASTER_ALEJANDRO_DE_LA_TORRE_MORENO.pdf
- FLIR Systems. (2011). Guía sobre termografía para aplicaciones en edificios y energía renovable. Recuperado de: http://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/T820325/T820325_ES.pdf
- Ipecontrol. (2019). Termografía infrarroja: su uso en el diagnóstico de edificios. Rehabilitación Energética. Recuperado de: <https://ipecontrol.com/termografia-infrarroja-su-uso-en-el-diagnostico-de-edificios/>
- Kestrel Meters. (2020). Kestrel 4000. Kestrel 4000 Pocket Weather Meter. Recuperado de: <https://kestrelmeters.com/products/kestrel-4000-weather-meter>
- Melgosa Revillas, S. (2011). Guía de la termografía infrarroja Aplicaciones en ahorro y eficiencia energética.
- Palma Sellés, P. (2015). Aplicación de la termografía en auditorías energéticas de edificios. Recuperado de: <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/48918>
- Rocha, J. H. A., & Póvoas, Y. V. (2017). La termografía infrarroja como un ensayo no destructivo para la inspección de puentes de concreto armado: Revisión del estado del arte. Revista ALCONPAT, 7, 200–214. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-68352017000300200&script=sci_arttext
- Termagraf. (n.d.). La termografía en edificación. Recuperado de: <https://www.termagraf.com/termografia/edificacion/>
- UNE-EN 13187. (1998). Prestaciones térmicas de edificios. Detección cualitativa de irregularidades en cerramientos de edificios. Método de infrarrojos. Recuperado de: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0023687>

Vigencia desde:	Código	Página 239 de 473
Marzo-2021	END04	



UNIVERSIDAD DE CUENCA

3.5. ENSAYO DE POTENCIAL DE CORROSIÓN END05

Vigencia desde:

Marzo-2021

Código

END05

Página **240** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Contenido

3.5.	ENSAYO DE POTENCIAL DE CORROSIÓN	240
3.5.1.	Objetivo.....	242
3.5.2.	Normas.....	242
3.5.3.	Usos.....	242
3.5.4.	Alcance.....	242
3.5.5.	Materiales y Equipo.....	243
3.5.6.	Procedimiento.....	243
3.5.6.1.	Diagrama de flujo	245
3.5.7.	Análisis de información	246
3.5.7.1.	Tablas de correlaciones para el potencial de media celda	246
3.5.8.	Glosario	247
3.5.9.	Bibliografía	247

Vigencia desde:

Marzo-2021

Código

END05

Página **241** de **473**



3.5.1. Objetivo

Es un ensayo no destructivo que tiene como propósito determinar la actividad de la corrosión del acero de refuerzo mediante la estimación del potencial eléctrico de media celda ^[1]. La corrosión puede causar una disminución del diámetro de los aceros de refuerzo y de su capacidad mecánica. Es importante conocer información sobre el estado de corrosión del acero debido a que los refuerzos son los que proveen la seguridad estática a la construcción. El ensayo es nombrado por la norma ASTM C876 como Potencial de media celda para acero de refuerzo no revestido en concreto, en donde la aplicación de pequeñas perturbaciones electro-químicas aporta información sobre la condición de la interfase acero-hormigón y por ende el grado de deterioro de la armadura. (Angamarca & Caguana, 2018; Roa Rodríguez et al., 2015)

3.5.2. Normas

- ASTM C876
- ACI 228.2R

3.5.3. Usos

Generalmente este ensayo se utiliza en estructuras en donde el acero de refuerzo haya perdido el revestimiento y se encuentre a la intemperie.

El ensayo de potencial de media celda da información valiosa sobre (ASTM C876, 2015; A. A. Torres et al., 2006):

- Evaluación de la calidad del acero de refuerzo.
- Obtención de la probabilidad de corrosión.
- Condición actual de la corrosión, ya sea activa o pasiva.

3.5.4. Alcance

Existen consideraciones que se deben tener en cuenta al momento de realizar este ensayo. (ASTM C876, 2015)

- Este ensayo se puede realizar sin importar el tamaño o la profundidad de recubrimiento del concreto sobre el acero de refuerzo.
- Los resultados obtenidos por el uso de este método de ensayo no deben ser considerados como una medida para estimar las propiedades estructurales del acero o del miembro de concreto reforzado.
- Este método puede ocuparse en cualquier momento durante la vida de un miembro de concreto de la estructura.
- Las medidas potenciales obtenidas deben ser interpretadas por ingenieros especialistas en estos ensayos. También es importante el uso de información como: contenido de cloruro, profundidad de carbonatación para plantear conclusiones sobre la actividad de corrosión y el efecto en la vida de la estructura.

Vigencia desde:	Código	Página 242 de 473
Marzo-2021	END05	



3.5.5. Materiales y Equipo

- Potencial de media celda de cobre/sulfato de cobre (Electrodo [\[2\]](#) de referencia)
- Voltímetro
- Cables eléctricos con aislamiento directo
- Esponja humedecida con una solución de contacto de resistencia baja
- Cepillo metálico
- Sujetadores tipo lagarto

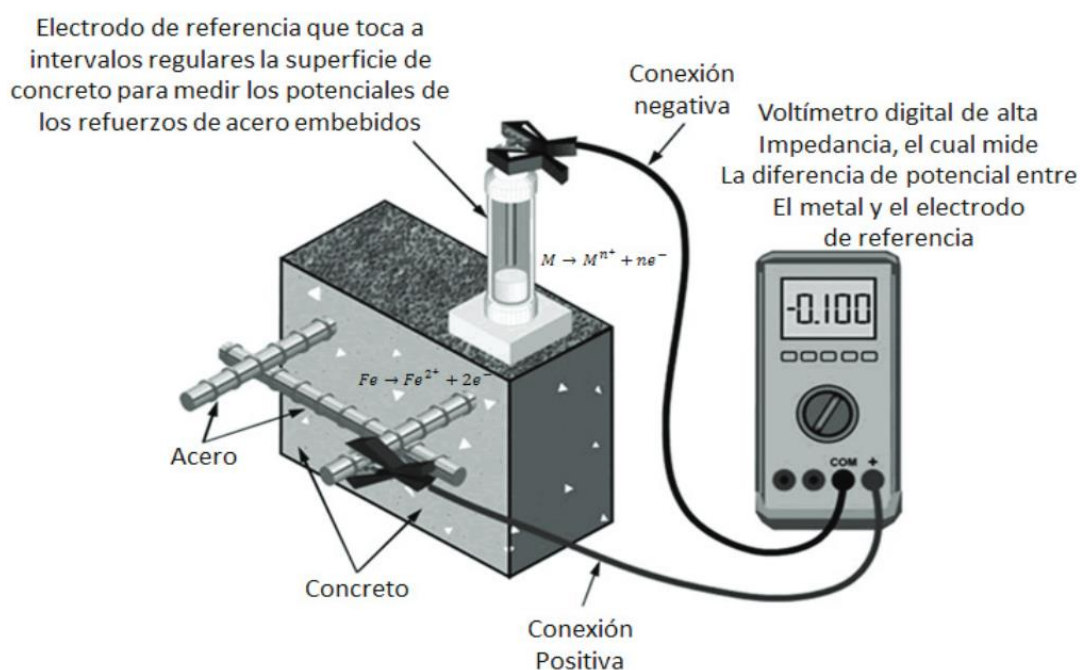


Gráfico 167 Equipo Potencial de media celda ASTM C876. Fuente: (Roa Rodríguez et al., 2015)

3.5.6. Procedimiento

- 1) Armar correctamente el envase del electrodo de referencia, verificar que en la parte inferior se encuentren bien adheridos el material poroso y la esponja al envase. También verificar que la varilla de cobre esté en su lugar como se muestra en el Gráfico 168.
- 2) Llenar con sulfato de cobre casi hasta el tope del envase; mantener este nivel durante todo el ensayo. Cuando el nivel disminuya de forma considerable, revisar bien la conexión en la parte inferior y volver a llenar.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

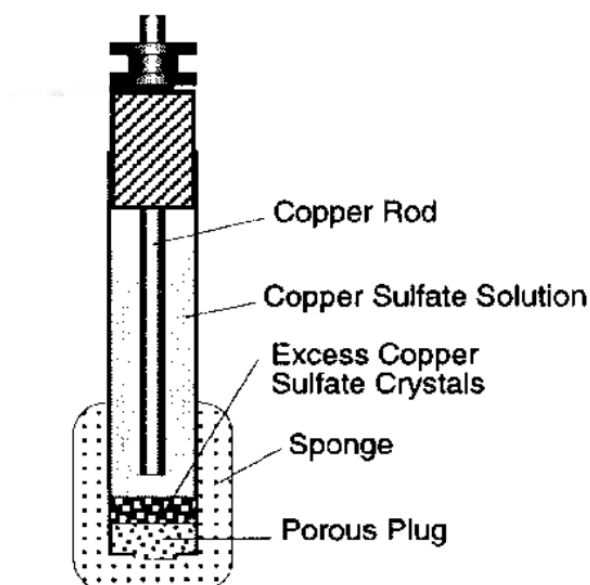


Gráfico 168 Envase, ensayo potencial de media celda. Fuente: (ACI 228.2R, 1998)

- 3) Colocar el primer cable eléctrico en la varilla de cobre saliente. Para asegurar la varilla con el cable se debe soldar o conectar con un sujetador tipo lagarto.
- 4) Conectar el otro extremo del mismo cable a la terminal negativa del voltímetro.
- 5) Cepillar, con ayuda del cepillo metálico, la superficie de la varilla de acero para librarla de impurezas y en caso de ser necesario retirar los residuos de hormigón para tener acceso al acero de refuerzo.
- 6) Conectar el segundo cable eléctrico al acero de refuerzo con un sujetador tipo lagarto.
- 7) Conectar el extremo opuesto del segundo cable a la terminal positiva del voltímetro.
- 8) Humedecer la esponja o bien la superficie de hormigón con una solución de contacto eléctrico. Dicha solución está compuesta de 95 ml de agente humectante o detergente casero mezclado con 5 galones (19 L) de agua potable; adicionalmente se puede añadir isopropil o alcohol desnaturalizado 15% por volumen de la mezcla para evitar que se nuble la solución de contacto eléctrico. Se humedece hasta que la lectura del voltaje sea estable por al menos 5 minutos; es decir, que la diferencia entre lecturas no sea mayor a $\pm 0.02V$.
- 9) Tomar lecturas del potencial de media celda en mV (milivoltios). Las medidas pueden ser tomadas en rejilla [\[3\]](#) o en cualquier patrón; el espaciamiento debe ser de 1.2m, sin embargo, en lugares donde las lecturas adyacentes tengan una diferencia mayor a 150 mV (áreas de actividad corrosiva alta) el espaciamiento debe reducirse.
- 10) Registrar los potenciales de media celda y compararlos con las tablas de la sección 3.5.7.1.

Vigencia desde:	Código	Página 244 de 473
Marzo-2021	END05	

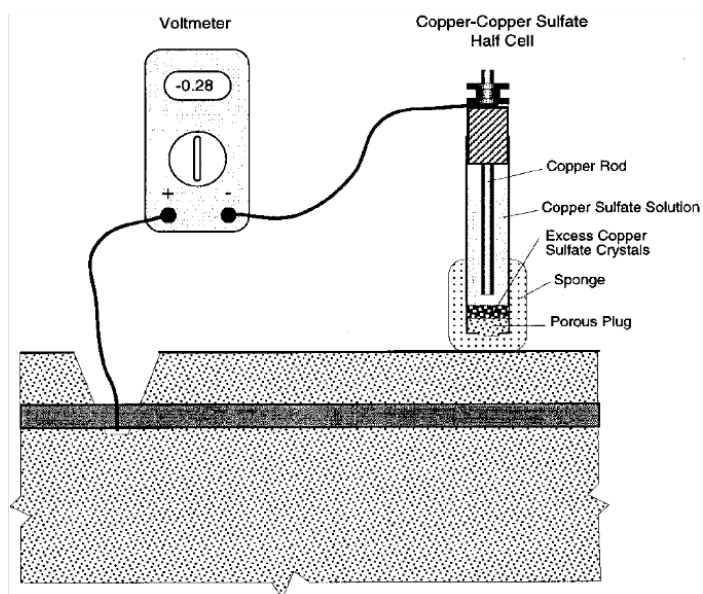


Gráfico 169 Equipo en funcionamiento, ensayo potencial de corrosión. Fuente: (ACI 228.2R, 1998)

3.5.6.1. Diagrama de flujo

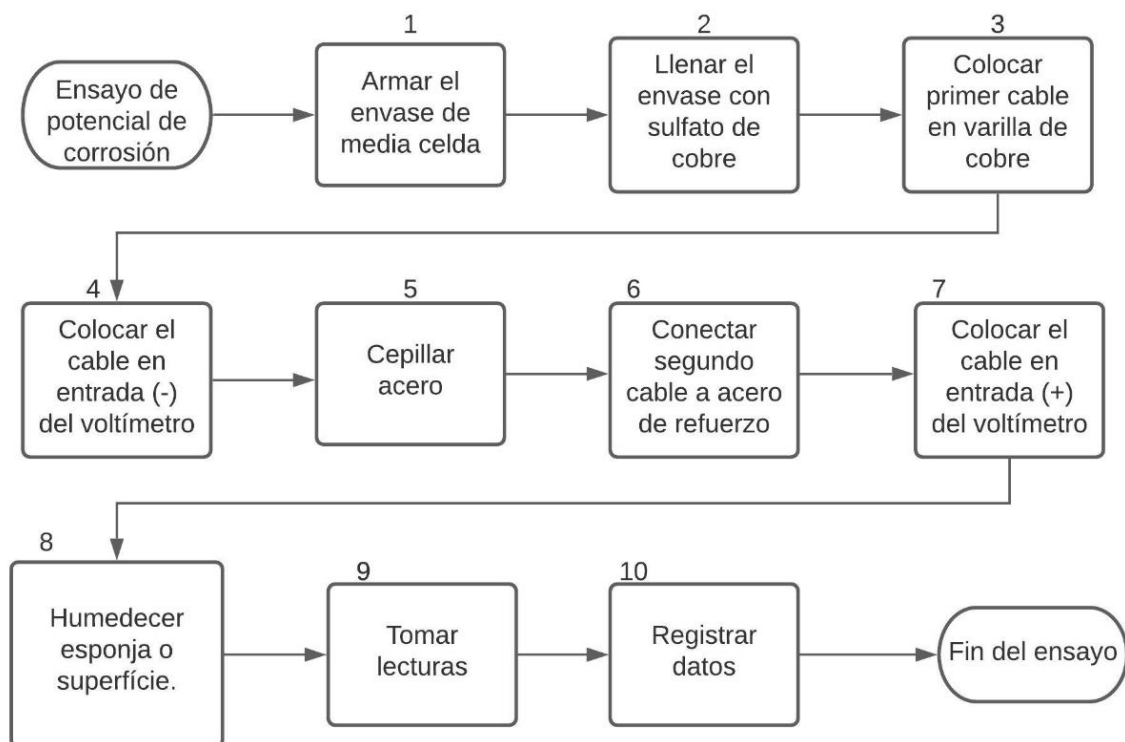


Diagrama de Flujo 6 Procedimiento para Potencial de corrosión. Fuente: (Autores)



3.5.7. Análisis de información

El potencial electroquímico es un parámetro muy importante, porque permite conocer que metal se comporta como ánodo y cual como cátodo. Zonas que actúan catódicamente presentan un potencial más positivo, y zonas que actúan anódicamente muestran un potencial más negativo. Por lo tanto, el potencial puede ser medido para detectar si el metal se corroe de acuerdo con la diferencia de potencial entre ambas zonas (A. A. Torres et al., 2006). La barra de acero corroído llamado Ánodo, pierde electrones como iones ferrosos que se incrustan en el hormigón. Este proceso se conoce como reacción de oxidación de media celda, los electrones que se quedan en la barra presentan un valor negativo que representa corrosión; por lo que este método se usa para detectar esta carga negativa. (ACI 228.2R, 1998)

3.5.7.1. Tablas de correlaciones para el potencial de media celda

El potencial obtenido directamente del voltímetro tiene varias funciones, que se han representado en tablas o criterios de correlación. Entre estas se tiene: la obtención de la probabilidad de corrosión (Tabla 27 y Tabla 28) y establecer si la corrosión en el acero de refuerzo se encuentra en estado pasivo o activo (Tabla 29).

Ecor ^[4] (mV) vs ESC ^[5]	Probabilidad de corrosión
-240	0%
-275	5%
-350	50%
-450	95%
-500	100%

Tabla 27 Criterio de Stratful para potenciales de corrosión como porcentaje de probabilidad de corrosión, ensayo de potencial de media celda. Fuente: (A. A. Torres et al., 2006)

Ecor (V) vs ESC	Probabilidad de corrosión
> -0.2	10% que se presente
-0.2 a -0.35	Zona incierta
< -0.35	90% que se presente

Tabla 28 Criterio de probabilidad de corrosión según ASTM, ensayo de potencial de media celda. Fuente: (ASTM C876, 2015)

Ecor (mV) vs ESC	Condición
< -270	Activa
> -220	Pasiva
-220 a -270	Activa o Pasiva

Tabla 29 Potenciales de corrosión como criterio de la condición de la varilla, ensayo de potencial de media celda. Fuente: (A. A. Torres et al., 2006)

Vigencia desde:	Código	Página 246 de 473
Marzo-2021	END05	



3.5.8. Glosario

- ^[1] Potencial eléctrico de media celda: Es un electrodo de referencia que consiste en un envase no menor a 25 mm constituido por un material dieléctrico no reactivo con el cobre o sulfato de cobre, un material poroso húmedo en la parte inferior, puede ser una madera porosa, y una varilla de cobre de longitud mayor a 50mm y de diámetro 6mm, el cual se introduce en el envase con una solución saturada de sulfato de cobre (ASTM C876, 2015). Este electrodo junto con un voltímetro y cables eléctricos con aislamiento aportan información de las condiciones de la interfase acero hormigón.
- ^[2] Electrodo: Es un conductor eléctrico utilizado para hacer contacto con una parte no metálica de un circuito.
- ^[3] Rejilla: Hace referencia a la toma de medidas siguiendo un patrón definido. Una rejilla tiene nodos en los puntos de unión de las líneas verticales y horizontales (equidimensionales); para seguir el patrón se realiza el ensayo en dichos nodos.
- ^[4] Ecor: Medición de potencial de media celda.
- ^[5] ESC: Electrodo Satura de Cobre.

3.5.9. Bibliografía

- ACI 228.2R. (1998). Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures. Manual of Concrete Practice, 98(Reapproved), 62.
- Angamarca, J., & Caguana, D. (2018). Evaluación patológica de infraestructuras hidráulicas de Elecaastro. In Trabajo de Titulación, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil. Universidad de Cuenca. Recuperado de: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/31516>
- ASTM C876. (2015). Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete. American Society for Testing and Materials. Recuperado de: https://kupdf.net/download/astm-c876-15-corrosion-potentials-of-uncoated-reinforcing-steel-in-concrete_5c2575a6e2b6f59b2385c273_pdf
- Roa Rodríguez, G., Aperador Chaparro, W., & Delgado Tobón, E. (2015). Diseño de sistema de monitoreo remoto para evaluación de la corrosión en estructuras de concreto reforzado sometidas a ion cloruro. Ingeniería, Investigación y Tecnología, 16(4), 565–572. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.riit.2015.09.008>
- Torres, A. A., Pérez, J. T., Ramírez, A. J., & Martínez, M. (2006). Estudio de la corrosión en barras de acero inoxidable en concreto contaminado por cloruros cuando se le aplican esfuerzos residuales. Recuperado de: <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt287.pdf>



UNIVERSIDAD DE CUENCA

3.6. ENSAYO DE ULTRASONIDO END06

Vigencia desde:

Marzo-2021

Código

END06

Página **248** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Contenido

3.6.	ENSAYO DE ULTRASONIDO	248
3.6.1.	Objetivo.....	250
3.6.2.	Normas.....	250
3.6.3.	Usos.....	250
3.6.4.	Alcance.....	250
3.6.5.	Materiales y Equipo.....	251
3.6.6.	Procedimiento.....	252
3.6.6.1.	Diagrama de flujo	253
3.6.7.	Análisis de información	254
3.6.7.1.	Transmisión directa y semidirecta.....	254
3.6.7.1.1.	Cálculo de la velocidad de pulso para la transmisión directa y semidirecta.	254
3.6.7.2.	Transmisión indirecta	254
3.6.7.2.1.	Corrección en transmisión indirecta	254
3.6.7.2.2.	Cálculo de la velocidad de pulso por el método indirecto.	254
3.6.7.2.3.	Cálculo del espesor de la capa de hormigón afectada	256
3.6.7.2.4.	Cálculo de la profundidad de la fisura	256
3.6.7.2.5.	Determinación de la dirección de Inclínación de la fisura	258
3.6.7.3.	Clasificación del hormigón según la velocidad de pulso.....	258
3.6.8.	Glosario	259
3.6.9.	Bibliografía	260

Vigencia desde:

Marzo-2021

Código

END06

Página **249** de **473**



3.6.1. Objetivo

Es un ensayo no destructivo, utilizado para evaluar la calidad del hormigón, nombrado según la norma ASTM C597 como Velocidad de pulso [\[1\]](#) a través del hormigón. Este ensayo utiliza transductores [\[2\]](#) que marcan el tiempo de propagación de una onda a través del hormigón para encontrar discontinuidades internas, como grietas o fisuras, para conocer la homogeneidad del elemento y también para conocer cambios en el hormigón por el fuego o ataques bioquímicos. (Angamarca & Caguana, 2018; ASTM C597, 2016; Monroy, 2007; Vásquez & Vásquez, 2017)

3.6.2. Normas

- ASTM C597
- ACI 228.1R
- ACI 228.2R
- NTE INEN-ISO 7963
- NTE INEN-ISO 2400

3.6.3. Usos

Normalmente este ensayo se utiliza en elementos de hormigón que presentan fallas en la superficie y sub superficie. Las principales aplicaciones se indican a continuación (ASTM C597, 2016; Monroy, 2007):

- Evaluación de la uniformidad y calidad relativa del concreto.
- Determinación de presencia de vacíos y grietas.
- Evaluación la efectividad de la reparación de grietas.
- Indica cambios en las propiedades del concreto.
- Estimación de la severidad de deterioro o agrietamiento.
- Obtención de espesores de capas afectadas.
- Profundidad e inclinación de fisuras.

3.6.4. Alcance

El ensayo de ultrasonido o velocidad de pulso, puede ser afectado por diversas razones (ACI 228.1R, 2003):

- Si el contenido de humedad incrementa, la velocidad de pulso puede aumentar hasta un 5%.
- Los procesos de curado, sobre todo si se utilizaron métodos acelerados.
- Presencia del refuerzo de acero. La velocidad de pulso a través del acero es aproximadamente 40 % más que a través del concreto, entonces la velocidad de pulso será mayor si está fuertemente reforzado; especialmente si las barras de acero se encuentran paralelas a la dirección de propagación de pulsos, entonces se deberá usar factores de corrección.
- El pulso puede difractarse cuando existe la presencia de discontinuidades, esto puede aumentar la trayectoria y tiempo de viaje disminuyendo la velocidad de pulso, este efecto de la onda puede mal interpretarse como una fuerza de compresión baja.

Vigencia desde:	Código	Página 250 de 473
Marzo-2021	END06	



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Se debe tener en cuenta consideraciones extras, como (ASTM C597, 2016):

- La velocidad de pulso no depende de la dimensión del objeto ensayado.
- La fuerza de señal recibida y la medición del tiempo son afectados por el acoplamiento de los transductores a la superficie de concreto, por este motivo, es necesario utilizar suficiente gel de acoplamiento y presión adecuada para asegurar la estabilidad del tiempo entre transductores.
- La fuerza de señal recibida es afectada por la longitud de viaje y por la presencia de agrietamientos o deterioros.
- La exactitud del ensayo depende de la habilidad del operador para determinar con exactitud la distancia entre transductores y del equipo utilizado. En Ecuador se puede asegurar que el personal tiene los conocimientos necesarios y es competente para realizar estos tipos de ensayos a través de las especificaciones planteadas en la normativa NTE INEN-ISO 9712.
- Los resultados que se obtienen mediante este ensayo no son considerados como un medio para medir la resistencia ni el módulo de elasticidad.

Además, la temperatura no tiene un efecto importante en la velocidad de pulso en un rango de 5°C a 30°C. (Pellicer, 2014)

3.6.5. Materiales y Equipo

- Generador de pulso
- Transductores
- Cables BNC de 1.5m
- Vaselina o gel de acoplamiento
- Cilindro de calibración



Gráfico 170 Equipo de Ultrasonido TICO Proceq. Fuente: (PROCEQ SA, 2008)

Vigencia desde:	Código	Página 251 de 473
Marzo-2021	END06	



3.6.6. Procedimiento

- 1) Armar el equipo. Conectar los transductores al generador de pulso con los cables BNC.
- 2) Calibrar el equipo utilizando el cilindro de calibración y los transductores de 54kHz, los cuales generalmente están incluidos en el equipo. Para esto colocar gel de acoplamiento en las caras de los transductores, unir los transductores a los extremos planos del cilindro y tomar una lectura. El resultado obtenido debe ser el mismo que el marcado en el cilindro de calibración.
En caso de utilizar transductores con diferente frecuencia, remitirse al instructivo de operación del equipo.
- 3) Limpiar el área donde se realizará el ensayo, eliminar capas de acabado como: pintura, enyesado o cemento que pueden afectar a las lecturas del equipo. En caso de que la superficie tenga rugosidad, utilizar piedra abrasiva para alisarla.
- 4) Realizar una inspección visual preliminar donde se constate los lugares donde se van a realizar el ensayo para determinar si existen huecos o fisuras que afecten la prueba y ubicar los puntos donde se colocarán los transductores.
- 5) Colocar gel de acoplamiento en los transductores.
- 6) Posicionar los transductores para tomar las lecturas. El Gráfico 171 muestra las diferentes posiciones que pueden tomar los transductores y la transmisión que obtiene.
 - Transmisión directa (Gráfico 171.a): Con esta transmisión se obtiene una máxima sensibilidad y una longitud de trayectoria bien definida.
 - Transmisión semidirecta (Gráfico 171.b): Con esta transmisión se obtiene una sensibilidad aceptable (menor a la transmisión directa y mayor a la transmisión indirecta) y debe considerarse que la longitud de trayectoria será diagonal.
 - Transmisión indirecta (Gráfico 171.c): Es la transmisión más desfavorable, tiene una sensibilidad menor debido a una trayectoria menos definida. En esta transmisión la longitud de trayectoria no se puede tomar de centro a centro de los transductores, por lo tanto, se debe realizar un procedimiento adicional para corregir la velocidad de pulso como se indica en la sección 3.6.7.2

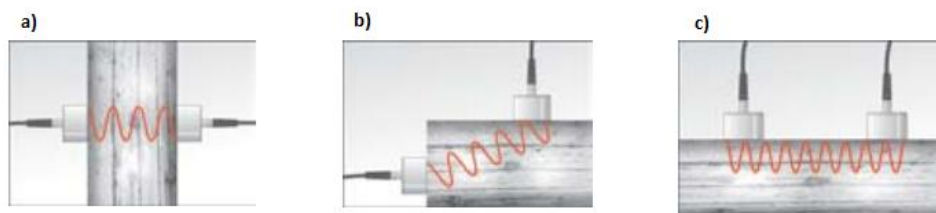


Gráfico 171 Tipo de transmisiones del ultrasonido, ensayo de ultrasonido. Fuente: (PROCEQ SA, 2008)

- 7) Una vez posicionados los transductores, tomar por lo menos tres lecturas, anotar el tiempo de propagación de onda, la distancia entre transductores (no debe ser mayor a 40cm), el tipo de transmisión y ubicación. Una vez obtenidos estos datos se procede a calcular la velocidad de pulso, la cual se debe comparar con algunos criterios de clasificación. Por ejemplo: Leslie y Cheesman.

Vigencia desde:	Código	Página 252 de 473
Marzo-2021	END06	





3.6.7. Análisis de información

3.6.7.1. Transmisión directa y semidirecta

3.6.7.1.1. Cálculo de la velocidad de pulso para la transmisión directa y semidirecta.

De la expresión velocidad es igual a espacio sobre tiempo, se obtiene:

$$Velocidad\ de\ Pulso\ \left(\frac{km}{s}\right) = \frac{Distancia\ entre\ transductores\ (cm) * 10}{Tiempo\ de\ propagación\ (\mu s)}$$

Ecuación 4 Velocidad de pulso, ensayo de ultrasonido. Fuente: (Monroy, 2007)

3.6.7.2. Transmisión indirecta

3.6.7.2.1. Corrección en transmisión indirecta

Este tipo de transmisión, aunque es la más desfavorable, es la que más se utiliza en la práctica ya que en la mayoría de casos no es posible hacer el ensayo en diferentes caras del elemento. Por lo tanto, se debe realizar de la siguiente manera:

- Colocar el transmisor en un punto de la superficie y el receptor sobre puntos sucesivos a lo largo de una misma línea como se muestra en el Gráfico 172.
- Obtener la distancia centro a centro para cada punto, incluido el tiempo de propagación respectivo.

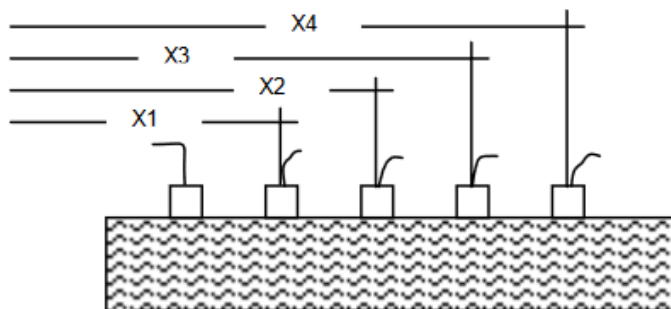


Gráfico 172 Corrección en transmisión indirecta, ensayo de ultrasonido. Fuente: (Monroy, 2007)

3.6.7.2.2. Cálculo de la velocidad de pulso por el método indirecto.

Se determina la velocidad promedio del pulso, como el inverso de la pendiente de la línea recta obtenida entre dos puntos de la gráfica Distancia vs Tiempo (Gráfico 173); este método se conoce como el método indirecto, como se aprecia a continuación.

Vigencia desde:	Código	Página 254 de 473
Marzo-2021	END06	



UNIVERSIDAD DE CUENCA

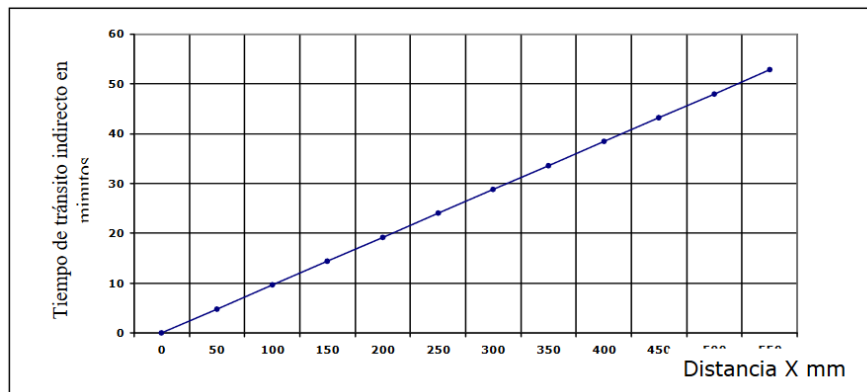


Gráfico 173 Método para determinar la distancia de tránsito con transmisión indirecta, ensayo de ultrasonido. Fuente: (Monroy, 2007)

Donde la pendiente de la recta es:

$$m = \frac{t_2 - t_1}{x_2 - x_1}$$

Ecuación 5 Pendiente de la recta, ensayo de ultrasonido. Fuente: (Monroy, 2007)

Obteniendo su inversa:

$$V = \frac{1}{m}$$

$$V_i = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

Ecuación 6 Inverso de la pendiente, ensayo de ultrasonido. Fuente: (Monroy, 2007)

Donde:

x : Distancia centro a centro de transductores. [cm]

t : Lectura de tiempo. [μ s]

V_i : Velocidad promedio de pulso aplicando en transmisión indirecta. [cm/ μ s]

Adicionalmente, se debe aplicar un factor de corrección ya que la velocidad de pulso determinada en el método indirecto es menor que la del método directo. (Monroy, 2007)

$$V_c = 1.05 V_i$$

Ecuación 7 Velocidad de pulso corregida, ensayo de ultrasonido. Fuente: (Monroy, 2007)

Donde:

V_c : Velocidad de pulso corregida. [cm/ μ s]

Vigencia desde:	Código	Página 255 de 473
Marzo-2021	END06	



3.6.7.2.3. Cálculo del espesor de la capa de hormigón afectada

Existen casos en donde los puntos del gráfico Distancia vs Tiempo no están en línea recta, es decir, que hay cambios de pendiente como se indica en el Gráfico 174. Esto significa que existen fisuras o que varía la calidad del hormigón en el trazado de la transmisión indirecta del ensayo.

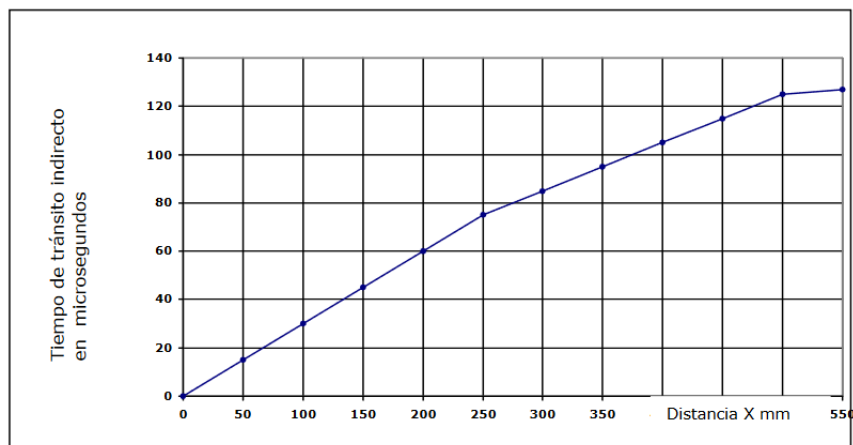


Gráfico 174 Distancia vs tiempo afectada por estratos en mal estado, ensayo de ultrasonido. Fuente: (Monroy, 2007)

La velocidad de pulso comienza a decrecer en el estrato deteriorado, por lo tanto, se calcula el espesor de la capa afectada mediante la siguiente expresión:

$$T = \frac{x_0}{2} * \left(\frac{V_s - V_d}{V_s + V_d} \right)^{0.5}$$

Ecuación 8 Espesor de la capa, ensayo de ultrasonido. Fuente: (Monroy, 2007)

Dónde:

T : Espesor de la capa de hormigón afectada. [cm]

x_0 : Distancia en la cual ocurre el cambio de pendiente. [cm]

V_s : Velocidad de pulso en hormigón no dañado. [cm/ μ s]

V_d : Velocidad de pulso en hormigón dañado. [cm/ μ s]

3.6.7.2.4. Cálculo de la profundidad de la fisura

Un importante dato para conocer la gravedad de la patología de un elemento de una estructura es la profundidad de su fisura. Las fisuras de contracción plástica tienen profundidades de 20 a 40mm, en ocasiones pueden atravesar losas, sin embargo, no presentan peligro estructural. Por otro lado, las fisuras originadas en la fase o estado endurecido pueden provocar problemas estructurales. (Toirac Corral, 2004) Para determinar la profundidad de la fisura se requiere hacer el siguiente procedimiento:

Vigencia desde:	Código	Página 256 de 473
Marzo-2021	END06	



UNIVERSIDAD DE CUENCA

- Colocar a cada lado de la parte más gruesa de la fisura los transductores a una distancia “X” como muestra el Gráfico 175.
- Tomar el tiempo transcurrido. (t_1)
- Colocar los transductores a una distancia igual al doble de la del primer paso (2X).
- Obtener el tiempo transcurrido de la distancia “2X” (t_2).

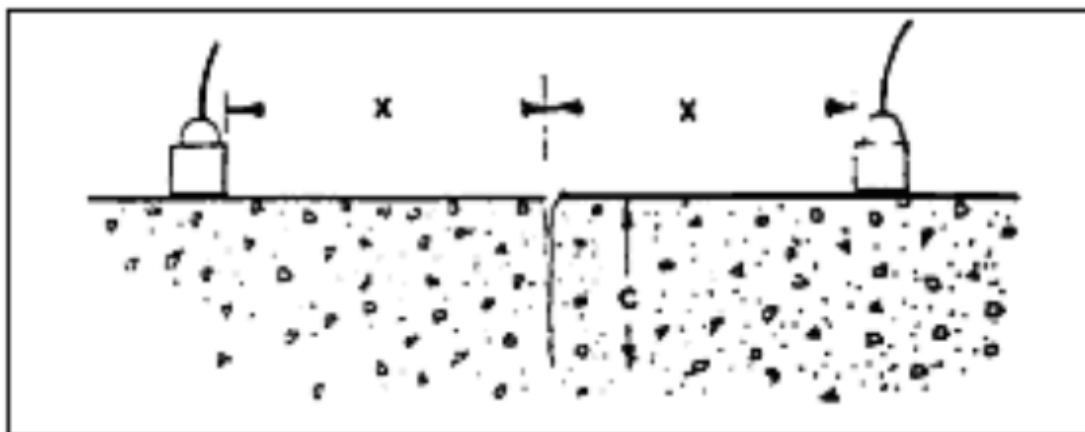


Gráfico 175 Procedimiento para obtener la profundidad de fisuración, ensayo de ultrasonido. Fuente: (Monroy, 2007)

Para obtener la profundidad de la fisura se utiliza la siguiente ecuación. Los equipos actuales tienen la opción para calcular la profundidad basándose en la misma ecuación:

$$C = X * \left(\frac{4t_1^2 - t_2^2}{t_2^2 - t_1^2} \right)^{0.5}$$

Ecuación 9 Profundidad de fisura, ensayo de ultrasonido. Fuente: (Monroy, 2007)

Dónde:

C: Profundidad de fisura. [mm]

X: Distancia del transductor a la fisura. [mm]

t_1 : Tiempo transcurrido en X. [μ s]

t_2 : Tiempo transcurrido en 2X. [μ s]

La profundidad de una fisura se puede obtener también con la relación entre las lecturas en hormigón continuo y un hormigón con fisuras.

- Colocar los transductores a una distancia X dejando la fisura en la mitad y medir el tiempo (rc).
- Colocar los transductores en un hormigón continuo, es decir, sin fisuras y medir el tiempo. (rl)

$$h = x \sqrt{\frac{rc^2}{rl^2} - 1}$$

Ecuación 10 Profundidad de fisura, ensayo de ultrasonido. Fuente: (Mogrovejo Carrasco & García, 2006)

Vigencia desde:	Código	Página 257 de 473
Marzo-2021	END06	



Donde:

h : Profundidad de la fisura. [cm]

x : Distancia entre diodos emisor y receptor. [cm]

rc : Registro de lectura entre la fisura. [μs]

rl : Registro de lectura en el hormigón continuo. [μs]

3.6.7.2.5. Determinación de la dirección de Inclinación de la fisura

Para determinar la dirección de la fisura en el hormigón se deben realizar los siguientes pasos (Monroy, 2007):

- Colocar los transductores a una distancia similar a como se explicó en el primer paso de la sección 3.6.7.2.4.
- Tomar el tiempo de propagación.
- Mover uno de los transductores en la misma línea, alejándolo de la fisura, así como se indica en el Gráfico 176.
- Tomar el tiempo de propagación

Si el segundo tiempo de propagación disminuye, quiere decir que la fisura está inclinada hacia el lado en que se movió el transductor. (Monroy, 2007)

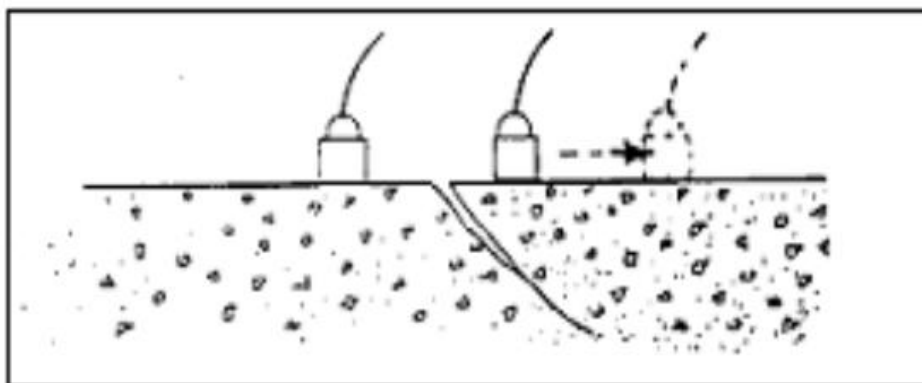


Gráfico 176 Procedimiento para determinar la dirección de inclinación de la fisura, ensayo de ultrasonido. Fuente: (Monroy, 2007)

3.6.7.3. Clasificación del hormigón según la velocidad de pulso.

Una vez encontrada la velocidad promedio de 3 lecturas, se debe clasificar al hormigón en categorías según los criterios de clasificación del autor (Pellicer, 2014):

Clasificación de la calidad del hormigón por medio de la velocidad de onda	
Velocidad de la onda longitudinal (m/s)	Condición del hormigón
Más de 4570	Excelente
De 3650 a 4570	Buena
De 3050 a 3650	Regular a dudosa
De 2130 a 3050	Pobre
Menos de 2130	Muy pobre

Tabla 30 Clasificación según Leslie y Cheesman, ensayo de ultrasonido. Fuente: (Pellicer, 2014)

Vigencia desde:	Código	Página 258 de 473
Marzo-2021	END06	



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Evaluación de la calidad mediante velocidad de pulso	
Velocidad de pulso (m/s)	Condición del hormigón
Más de 3000	Buena
De 2500 a 3000	Regular
Menos de 2130	Pobre

Tabla 31 Clasificación según Agrava, ensayo de ultrasonido. Fuente: (Pellicer, 2014)

Velocidad mínima de pulso en estructuras típicas	
Tipo de obra	Velocidad mínima de pulso para su aceptación (m/s)
Selecciones T de hormigón reforzado	4570
Unidades de anclaje de hormigón reforzado	4360
Marcos de edificios de hormigón reforzado	4110
Losas de entre piso	4720

Tabla 32 Velocidad mínima en estructuras típicas, ensayo de ultrasonido. Fuente: (Pellicer, 2014)

3.6.8. Glosario

- ^[1] Velocidad de pulso: Hace referencia a la generación de pulsos de ondas de tensión longitudinal emitidos por un transductor electro acústico que se mantiene en contacto con la superficie del concreto bajo prueba. Después de recorrer la muestra de concreto, estos pulsos son recibidos y convertidos en energía eléctrica por un segundo transductor situado a una distancia de la transmisión del primer transductor; el tiempo de tránsito se mide electrónicamente y la velocidad del pulso ultrasónico se puede establecer dividiendo la distancia de los transductores entre el tiempo de tránsito. (L. Aguirre, 2015)
- ^[2] Transductores: Son dispositivos capaces de transformar o convertir energía.

Vigencia desde:	Código	Página 259 de 473
Marzo-2021	END06	



3.6.9. Bibliografía

- ACI 228.1R. (2003). In-Place Methods to Estimate Concrete Strength Reported. ACI Committee Reports, 228, 1R, 44.
- ACI 228.2R. (1998). Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures. Manual of Concrete Practice, 98 (Reapproved), 62.
- Aguirre, L. (2015). Resistencia a la compresión del concreto a partir de la velocidad de pulsos de ultrasonido. Revista Civilízate, 6, 18–20.
- Angamarca, J., & Caguana, D. (2018). Evaluación patológica de infraestructuras hidráulicas de Elecaastro. In Trabajo de Titulación, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil. Universidad de Cuenca. Recuperado de: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/31516>
- ASTM C597. (2016). Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete. American Society for Testing and Materials. Recuperado de: <https://www.astm.org/Standards/C597.htm>
- Mogrovejo Carrasco, D., & García, G. (2006). Evaluación y Diagnóstico de los pórticos del Puente Asunción. In Informe técnico.
- Monroy, R. (2007). Patologías En Estructuras De Hormigon Armado Aplicado a Marquesina Del Parque Saval. In Tesis para optar al título de: Ingeniero Civil en Obras Civiles. Universidad Austral de Chile. Recuperado de: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/bmfcim753p/doc/bmfcim753p.pdf>
- NTE INEN-ISO 2400. (2014). Ensayos no destructivos. Examen por ultrasonidos. Especificaciones relativas al bloque de calibración N°1. Norma Técnica Ecuatoriana.
- NTE INEN-ISO 7963. (2014). Ensayos no destructivos. Examen por ultrasonidos. Especificaciones para el bloque de calibración N°2. Norma Técnica Ecuatoriana.
- NTE INEN-ISO 9712. (2013). Ensayos no destructivos - Cualificación y Certificación de personal. Norma Técnica Ecuatoriana.
- Pellicer, V. (2014). Ensayos no destructivos en hormigón. Georadar y ultrasonidos. Recuperado de: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/35207/PROYECTO%20DEFINITIVO.pdf?sequence=1>
- PROCEQ SA. (2008). Operating Instructions Ultrasonic Testing Instrument. Recuperado de: http://www.abmbv.nl/files/proceq_tico_user_manual_en.pdf
- Toirac Corral, J. (2004). Patología de la construcción. Grietas y Fisuras en obras de hormigón. Origen y prevención. Ciencia y Sociedad, 29(1), 72–114. Recuperado de: <https://doi.org/10.22206/cys.2004.v29i1.pp72-114>
- Vásquez, C. A., & Vásquez, C. A. (2017). Análisis de patologías en la plataforma de rieles del proyecto Tranvía cuatro ríos de Cuenca. In Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil. Universidad de Cuenca. Recuperado de: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28572>



UNIVERSIDAD DE CUENCA

3.7. ENSAYO DE MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DE ONDA-P Y ESPESOR DE PLACAS DE CONCRETO, MÉTODO IMPACTO- ECO END07

Vigencia desde:

Marzo-2021

Código

END07

Página **261** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Contenido

3.7.	ENSAYO DE MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DE ONDA-P Y ESPESOR DE PLACAS DE CONCRETO, MÉTODO IMPACTO-ECO.....	261
3.7.1.	Objetivo.....	263
3.7.2.	Normas.....	263
3.7.3.	Usos.....	263
3.7.4.	Alcance.....	263
3.7.5.	Materiales y Equipo.....	264
3.7.5.1.	Materiales y Equipo – Método A.....	264
3.7.5.2.	Materiales y Equipo – Método B.....	264
3.7.6.	Procedimiento.....	265
3.7.6.1.	Procedimiento - Método A.....	265
3.7.6.1.1.	Diagrama de flujo – Método A.....	267
3.7.6.2.	Procedimiento – Método B.....	267
3.7.6.2.1.	Diagrama de flujo – Método B.....	268
3.7.7.	Análisis de información.....	269
3.7.7.1.	Análisis de información – Método A.....	269
3.7.7.1.1.	Medición de la velocidad de Onda-P.....	269
3.7.7.1.2.	Medición del espesor.....	270
3.7.7.1.3.	Detección de defectos internos.....	270
3.7.7.1.4.	Medición de profundidad de grietas superficiales.....	270
3.7.7.2.	Análisis de información – Método B.....	271
3.7.7.3.	Precisión de ensayos.....	272
3.7.8.	Glosario.....	273
3.7.9.	Bibliografía.....	273

Vigencia desde:

Marzo-2021

Código

END07

Página **262** de **473**



3.7.1. Objetivo

Es un ensayo no destructivo utilizado para identificar defectos en estructuras de concreto; este ensayo está compuesto por dos procedimientos. El primero mide el tiempo de viaje de una Onda-P entre dos transductores ubicados a una distancia conocida, la onda se genera por un impacto de corta duración. El segundo procedimiento mide la frecuencia en que la Onda-P es reflejada entre dos superficies paralelas y opuestas de una placa [\[1\]](#). Con la velocidad de Onda-P y la frecuencia se obtiene el espesor. (ASTM C1383, 2015; NTG 41017 h27, 2015)

3.7.2. Normas

- ASTM C1383
- NTG 41017 h27
- ACI 228.2R

3.7.3. Usos

Es un método versátil que tiene varias aplicaciones (Germann Instruments inc; Neodex, 2016):

- Medición del espesor en pavimentos, losas y muros.
- Detectar la presencia y profundidad de fallas, segregaciones y grietas.
- Detección de vacíos debajo de losas.
- Evaluación de inyecciones de Grout, epóxicos o lechadas.
- Inspección de grietas horizontales en pisos de puentes, muelles y estructuras de chimenea.
- Medición de profundidad de grietas superficiales.
- Calidad del concreto.

3.7.4. Alcance

Existen importantes consideraciones que se deben tomar en cuenta al momento de realizar el ensayo (ASTM C1383, 2015; NTG 41017 h27, 2015):

- Debido a las diferencias de edad del concreto o la variabilidad de huecos que pueden existir, la velocidad de onda puede variar de un punto a otro de la estructura. Por este motivo, la velocidad de onda es medida en cada punto en donde se quiere calcular el espesor.
- Los fabricantes definen los límites del equipo (espesor máximo y mínimo que se pueden medir); los límites establecidos no deben ser superados.
- El método de Impacto-Eco supone que la placa de concreto tiene la misma velocidad de Onda-P a lo largo de su profundidad, por lo que no es aplicable a estructuras de placa con recubrimientos.
- El tiempo de viaje de una Onda-P se realiza en concreto seco al aire. Un alto contenido de humedad puede afectar a los resultados.
- El espesor se calcula en placas de concreto sobre suelo, grava o concreto de cemento portland puro, siempre que se tenga suficiente diferencia de impedancia acústica [\[2\]](#) entre el concreto y el sustrato.
- El ruido del tráfico o vibraciones estructurales de baja frecuencia generadas por el tráfico no afectan al ensayo. Por otra parte, los ruidos mecánicos creados por equipos de impacto [\[3\]](#) impiden que el ensayo sea aplicable.

Vigencia desde:	Código	Página 263 de 473
Marzo-2021	END07	



- Es necesario contar con personal calificado; en Ecuador se puede asegurar que el personal tiene los conocimientos necesarios y es competente para realizar estos tipos de ensayos a través de las especificaciones planteadas en la normativa NTE INEN-ISO 9712.

3.7.5. Materiales y Equipo

3.7.5.1. Materiales y Equipo – Método A

- **Emisor de impacto:** Debe ser esférico o de punta esférica, capaz de producir una duración de impacto de $30 \pm 10 \mu s$ con energía suficiente para producir desplazamientos superficiales.
- **Transductores:** Dos transductores que sean capaces de detectar desplazamientos pequeños que corresponden al impacto generado de la Onda-P. Debe contar con un dispositivo separador que no interfiera con la medición de los transductores.
- **Computadora portátil con software incorporado:** El software consiste en un programa para obtener, registrar y procesar la información proporcionada por los transductores.
- **Spider [opcional]:** Es una unidad que consiste en varias bolas de acero que generan múltiples impactos y mejoran el rango de operación del sistema.



Gráfico 177 Equipo de medición de velocidad de Onda-P, Método A. Fuente: (Germann Instruments inc)

3.7.5.2. Materiales y Equipo – Método B

Los materiales y equipo para el Método B son los mismos descritos para el Método A, en la sección 3.7.5.1, con la única diferencia que se usa solo un transductor y la duración de impacto debe ser menor.

Vigencia desde:	Código	Página 264 de 473
Marzo-2021	END07	



Gráfico 178 Equipo de medición de velocidad de Onda-P, Método B. Fuente: (Germann Instruments inc)

3.7.6. Procedimiento

3.7.6.1. Procedimiento - Método A

- 1) Secar la superficie de trabajo y remover toda suciedad y escombros. Si la superficie es áspera se debe lijar hasta lograr un buen contacto entre el transductor y el concreto.
- 2) Conectar el equipo (Portátil, emisor de impacto, transductores).
- 3) Separar los transductores, usando el dispositivo espaciador, 30 cm entre ellos; colocar el generador de impacto a 15 cm de uno de los transductores, como se indica en el Gráfico 179.

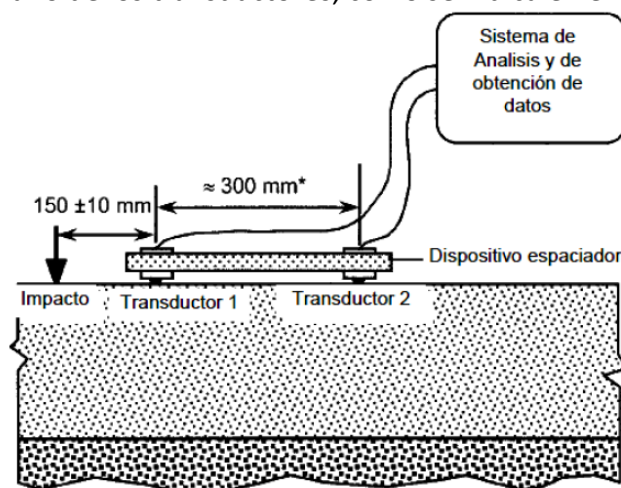


Gráfico 179 Esquema del posicionamiento del equipo, Método A; ensayo Eco-Impacto. Fuente: (NTG 41017 h27, 2015)

- 4) Verificar que el sistema de ensayo esté funcionando correctamente, para esto se calibra el equipo en superficies donde no existan grietas.
- 5) Posicionar los transductores de acuerdo al objetivo del ensayo.

Vigencia desde:	Código	Página 265 de 473
Marzo-2021	END07	



- **Medición del espesor y Detección de defectos internos:** Los transductores se colocan sobre la superficie como muestra el Gráfico 179.
- **Medición de profundidad de grietas superficiales:** Los transductores se posicionan a los lados opuestos de la grieta a una distancia conocida ($L3$ desde el transductor 1 y $L2$ desde el transductor 2) y el emisor de impacto se coloca en la línea que pasa entre los transductores a una distancia $L1$ desde la grieta. Como se indica en el Gráfico 180.

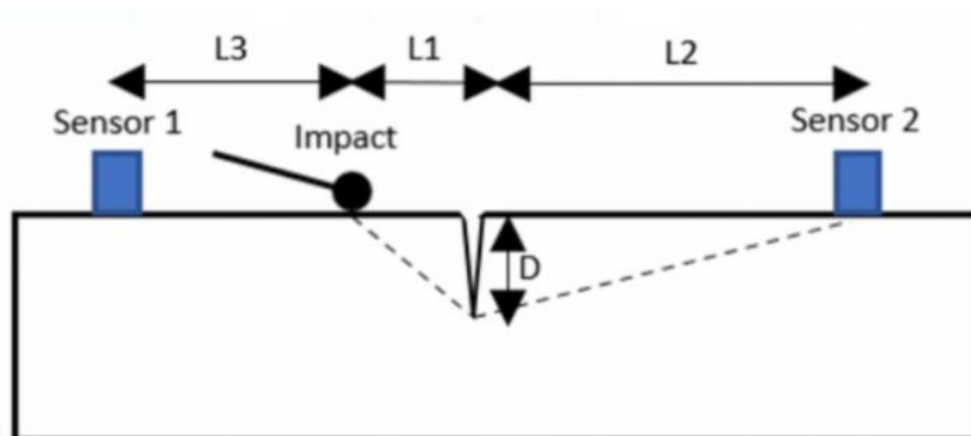


Gráfico 180 Posicionamiento para medición de profundidad de grietas, ensayo Eco-Impacto. Fuente:(FPrimeC Solutions, 2017)

- 6) Ejecutar el impacto.
- 7) Analizar los resultados en el software correspondiente.



3.7.6.1.1. Diagrama de flujo – Método A

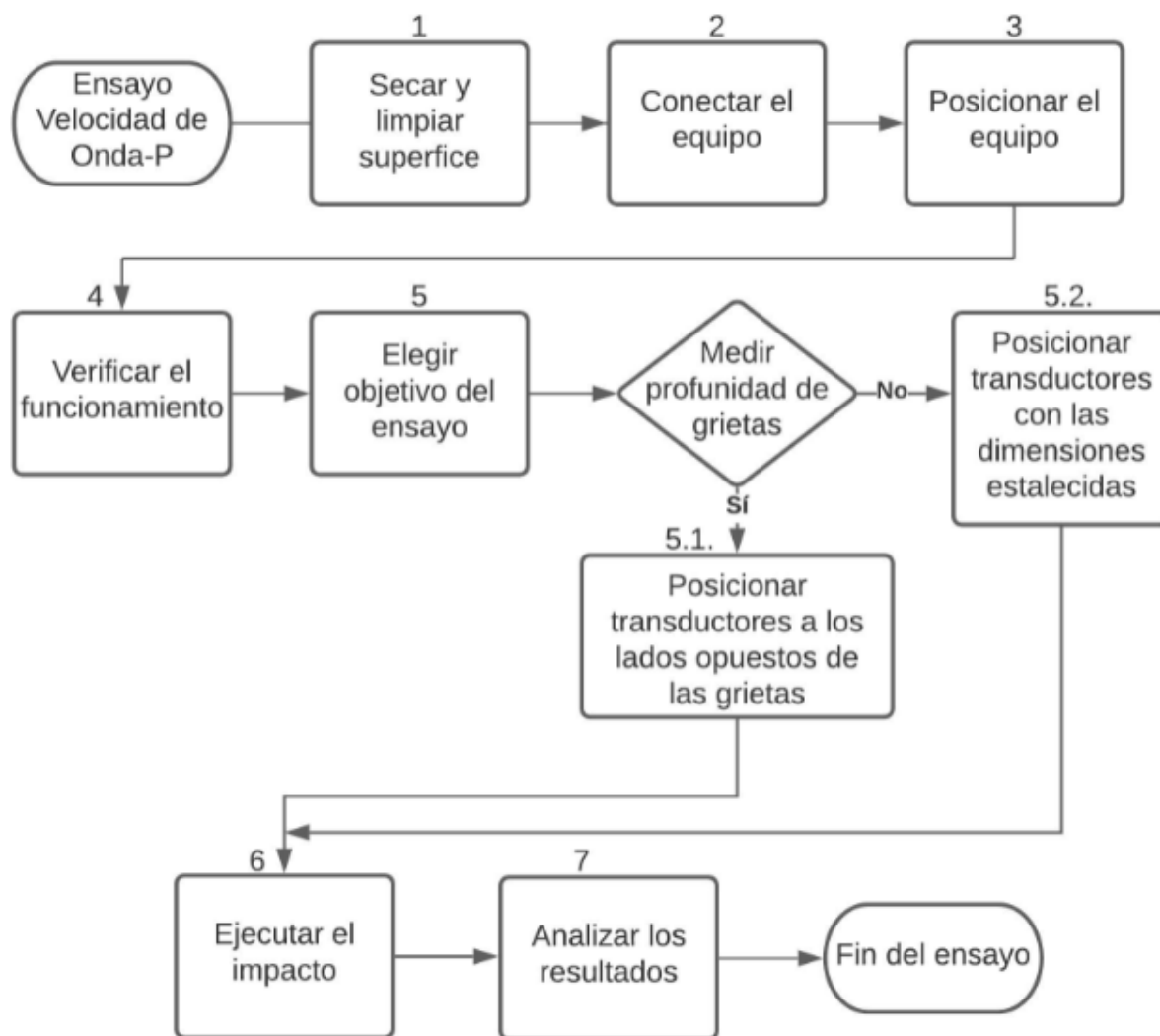


Diagrama de Flujo 8 Procedimiento para Velocidad de Onda-P Método A, ensayo de Eco-Impacto. Fuente: (Autores)

3.7.6.2. Procedimiento – Método B

- 1) Realizar los pasos 1) y 2) del procedimiento del Método A, mostrado en la sección 3.7.6.1.
- 2) Medir el espesor de la placa (T).
- 3) Ubicar el transductor y el generador de impactos en la superficie donde se quiere medir el espesor. El generador de impactos debe colocarse a una distancia menor de 0.4 del espesor de placa nominal, el posicionamiento se indica en el Gráfico 181.

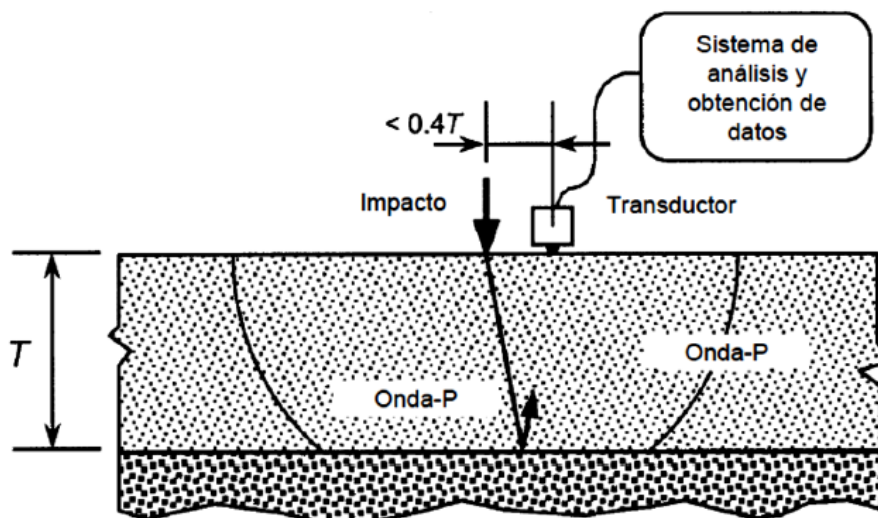


Gráfico 181 Esquema del posicionamiento del equipo, Método B; ensayo Eco-Impacto. Fuente: (NTG 41017 h27, 2015)

- 4) Verificar que el sistema de ensayo esté funcionando correctamente, para esto se calibra el equipo en superficies donde no existan grietas.
- 5) Ejecutar el impacto.
- 6) Analizar los resultados en el software correspondiente.

3.7.6.2.1. Diagrama de flujo – Método B

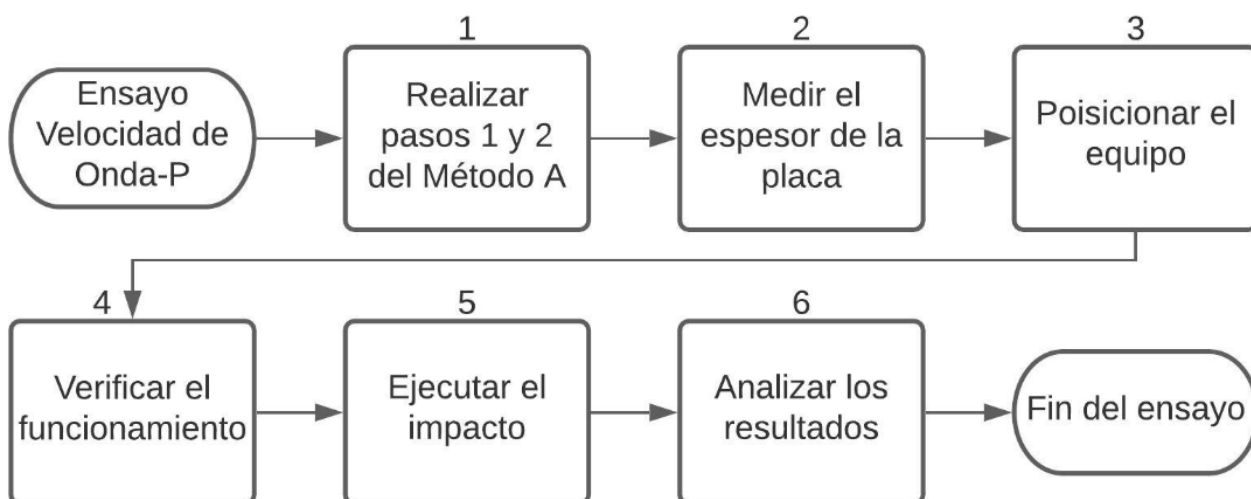


Diagrama de Flujo 9 Procedimiento para Velocidad de Onda-P Método B, ensayo de Eco-Impacto. Fuente: (Autores)

Vigencia desde:	Código	Página 268 de 473
Marzo-2021	END07	



3.7.7. Análisis de información

Existen varios programas, dependiendo del fabricante del equipo, para obtener, registrar y procesar los datos obtenidos en el ensayo. Dos de los softwares especializados en este ensayo, que reúnen las tres características mencionadas, son Viking y Mirador; este último incorpora tecnología innovadora para crear representaciones visuales en 2D y 3D de los resultados del método Impacto-Eco. (Germann Instruments inc)

3.7.7.1. Análisis de información – Método A.

3.7.7.1.1. Medición de la velocidad de Onda-P

La velocidad de Onda-P es determinada al medir el tiempo que tarda en viajar entre los dos transductores, ubicados a una separación conocida (30 cm). El momento de llegada de la Onda-P a los transductores se identifica como el punto en donde la señal se eleva por encima del valor de línea base, con la diferencia entre estos tiempos (Δt) se encuentra el tiempo de viaje de la Onda-P entre los transductores (Gráfico 182). (ASTM C1383, 2015; Germann Instruments inc; NTG 41017 h27, 2015)

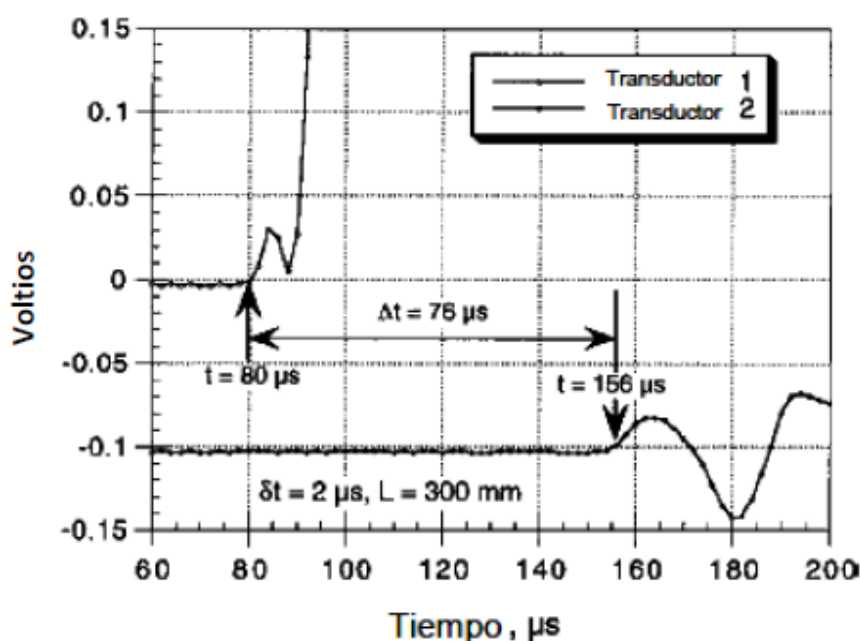


Gráfico 182 Ejemplo de formas de ondas, Método A; ensayo Eco-Impacto. Fuente: (NTG 41017 h27, 2015)

La ecuación para calcular la Velocidad de Onda-P es la siguiente:

$$C_p = \frac{L}{\Delta t}$$

Ecuación 11 Velocidad de Onda-P, ensayo Eco-Impacto. Fuente: (ASTM C1383, 2015)

Donde:

C_p : Velocidad de Onda-P. [m/s]

L : Distancia conocida entre transductores. [m]

Δt : Tiempo de viaje entre transductores. [s]

Vigencia desde:	Código	Página 269 de 473
Marzo-2021	END07	



3.7.7.1.2. Medición del espesor

La velocidad de la Onda-P es convertida a una velocidad aparente para el cálculo del espesor de una placa. Según Gibson & Popovics (2005) el factor para transformar a velocidad aparente es 0.96. Entonces, se tiene:

$$C_{p,ap} = 0.96 * C_p$$

Ecuación 12 Velocidad aparente de Onda-P, ensayo Eco-Impacto. Fuente: (ASTM C1383, 2015)

Donde:

$C_{p,ap}$: Velocidad aparente de la Onda-P. [m/s]

C_p : Velocidad de la Onda-P. [m/s]

El software internamente transforma la forma de onda registrada en un dominio de frecuencia utilizando la transformada de Fourier y obtiene un espectro de amplitud. Se produce un pico dominante simple (punto más alto) en el espectro de amplitud a una frecuencia correspondiente al espesor de la placa. (ASTM C1383, 2015; NTG 41017 h27, 2015)

Con este valor de frecuencia y la velocidad aparente de la Onda-P se puede obtener el espesor de placa con la siguiente ecuación:

$$T = \frac{C_{p,ap}}{2f}$$

Ecuación 13 Espesor de placa, ensayo Eco-Impacto. Fuente: (ASTM C1383, 2015)

Donde:

T : Espesor de la placa. [m]

$C_{p,ap}$: Velocidad aparente de la Onda-P. [m/s]

f : Frecuencia correspondiente al espesor de la placa. [Hz]

3.7.7.1.3. Detección de defectos internos

Cuando en el hormigón existen interfases concreto-aire la Onda-P se refleja completamente, permitiendo detectar defectos internos de la estructura como delaminaciones, cavidades y segregaciones. El programa obtiene el espectro de amplitud, como se indicó anteriormente; cuando el defecto es lo suficientemente grande para ser detectado el espectro mostrará dos picos. El pico de mayor amplitud corresponde al espesor de la placa y el más pequeño hace referencia a la presencia de un defecto. Cuando el espesor de la placa es constante este proceso es un buen indicador de la existencia y ubicación de defectos o fallas. (Germann Instruments inc)

3.7.7.1.4. Medición de profundidad de grietas superficiales

Cuando la Onda-P llega a la punta de la grieta se difracta y es detectada por el transductor colocado en el lado opuesto de la grieta. Con la diferencia de tiempo (Δt), entre la llegada de la Onda-P al primer transductor y la llegada de la Onda-P difractada al segundo transductor, se puede calcular la profundidad de la grieta. (Germann Instruments inc)

Para el cálculo de la profundidad de las grietas se utiliza la siguiente ecuación. (Sun et al., 2018)

Vigencia desde:	Código	Página 270 de 473
Marzo-2021	END07	



$$D = \sqrt{\left(\frac{(C_p * \Delta t)^2 + L1^2 - L2^2}{2C_p \Delta t}\right)^2 - L1^2}$$

Ecuación 14 Profundidad de grietas, ensayo Eco-Impacto. Fuente: (Sun et al., 2018)

Donde:

D : Profundidad de grietas superficiales. [m]

C_p : Velocidad de la Onda-P. [m/s]

Δt : Diferencia entre los tiempos de llegada desde el impacto de la Onda-P al primer y segundo transductor. [s]

El valor de Δt se muestra gráficamente en el Gráfico 183, también se indica la ecuación utilizada para el cálculo.

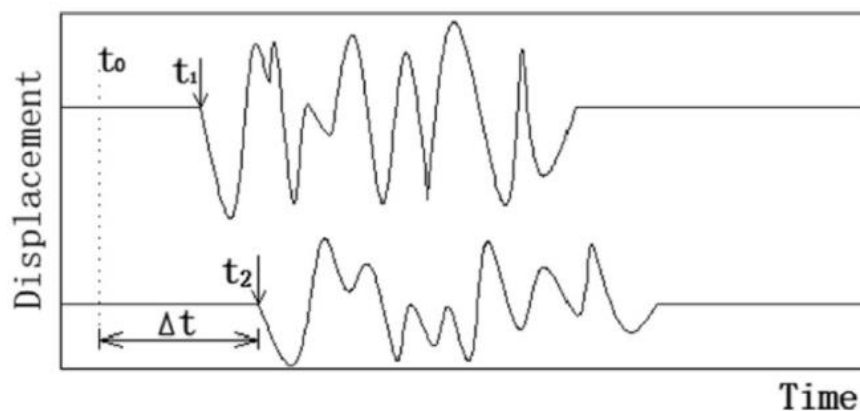


Gráfico 183 Diferencia de tiempos entre transductores. Fuente: (Sun et al., 2018)

$$\Delta t = t2 - t1 + \frac{L3}{C_p}$$

Ecuación 15 Variación de tiempo, ensayo Eco-Impacto. Fuente: (Sun et al., 2018)

$L1, L2$ y $L3$: Distancias mostradas en el Gráfico 180. [m]

3.7.7.2. Análisis de información – Método B.

Una vez realizado el ensayo, examinar el espectro de amplitud y el pico dominante. El Gráfico 184 indica la forma de onda y el pico dominante en el espectro de amplitud para una losa de concreto de 25cm; mientras que el Gráfico 185 muestra la onda y el espectro de un ensayo incorrecto. Las ondas no muestran oscilaciones periódicas y el espectro de amplitud no tiene un único pico dominante. Con la frecuencia y el espesor medido de la placa, se puede hacer uso de la Ecuación 11 para calcular la velocidad de Onda-P.

Vigencia desde:	Código	Página 271 de 473
Marzo-2021	END07	

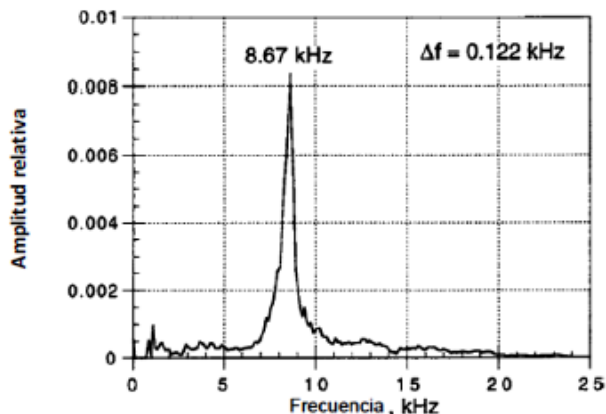
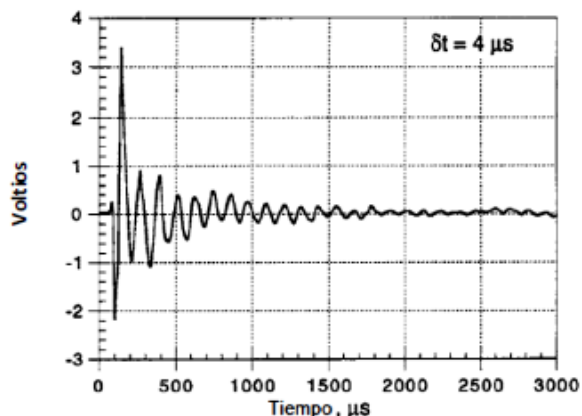


Gráfico 184 Onda y espectro para una losa de 25cm, ensayo Eco-Impacto. Fuente: (NTG 41017 h27, 2015)

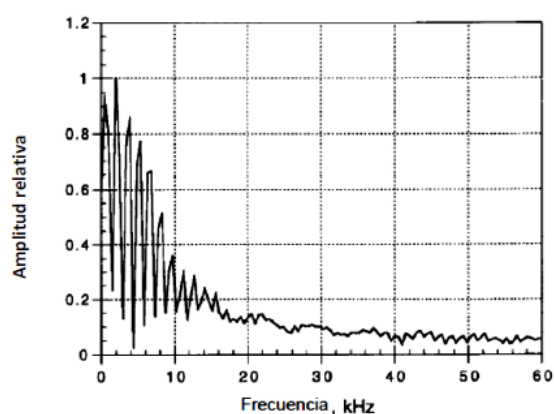
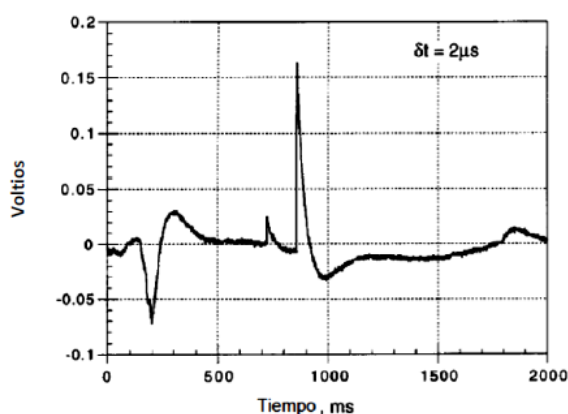


Gráfico 185 Onda y espectro de un ensayo inválido, ensayo Eco-Impacto. Fuente: (NTG 41017 h27, 2015)

3.7.7.3. Precisión de ensayos

El equipo usado para este ensayo tiene buena exactitud, pero el rango varía dependiendo del objetivo y el método utilizado.

Cuando se calcula la velocidad de Onda-P y el espesor de la placa (Método A) el error es de $\pm 3\%$, asumiendo que la velocidad de Onda-P es uniforme en toda profundidad. Por otro lado, para el cálculo de la velocidad de Onda-P con un grosor de placa conocido (Método B) el error tiene un rango de $\pm 2\%$, con esto se asume que en todos los puntos de prueba se tiene la misma velocidad. Por último, cuando se calcula la profundidad de grietas los resultados se estiman con un error de $\pm 4\%$. (Germann Instruments inc)



3.7.8. Glosario

- ^[1] Placa: Es una estructura prismática en donde las dimensiones laterales son al menos seis veces el espesor. (NTG 41017 h27, 2015)
- ^[2] Impedancia acústica: Es el producto de la velocidad y la densidad de una Onda-P.
- ^[3] Equipos de impacto: Pueden ser martillos hidráulicos, martillos de rebote, barredoras mecánicas, etc.

3.7.9. Bibliografía

- ACI 228.2R. (1998). Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures. Manual of Concrete Practice, 98(Reapproved), 62.
- ASTM C1383. (2015). Standard Test Method for Measuring the P-Wave Speed and the Thickness of Concrete Plates Using the Impact-Echo Method. American Society for Testing and Materials.
- FPrimeC Solutions. (2017). 3 Methods for Crack Depth Measurement in Concrete. Inspection and Evaluation. Recuperado de: <https://www.fprimec.com/3-methods-crack-depth-measurement-in-concrete/>
- Germann Instruments inc. (n.d.). DOCTer Método Impact-Echo. Recuperado de: [http://www.germann.org/Publications/Spanish catalogs/DOCTer - Spanish.pdf](http://www.germann.org/Publications/Spanish%20catalogs/DOCTer%20-%20Spanish.pdf)
- Gibson, A., & Popovics, J. S. (2005). Lamb Wave Basis for Impact-Echo Method Analysis. Journal of Engineering Mechanics, 131(4), 438–443. Recuperado de: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9399\(2005\)131:4\(438\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9399(2005)131:4(438))
- Neodex. (2016). Impact-Echo. Concrete Non Destructive Testing. Recuperado de: <http://neodexndt.com/es/impacto-eco/>
- NTE INEN-ISO 9712. (2013). Ensayos no destructivos - Cualificación y Certificación de personal. Norma Técnica Ecuatoriana.
- NTG 41017 h27. (2015). Método de ensayo. Medición de la velocidad de Onda-P y el espesor de placas de concreto utilizando el método Impacto-Echo (Impact-Echo). Norma Técnica Guatemalteca, 502, 1–23.
- Sun, Y., Huang, P., Su, J., & Wang, T. (2018). Depth estimation of surface-opening crack in concrete beams using impact-echo and non-contact video-based methods. Eurasip Journal on Image and Video Processing, 2018(1). Recuperado de: <https://doi.org/10.1186/s13640-018-0382-7>



UNIVERSIDAD DE CUENCA

3.8. ENSAYO DE CARBONATACIÓN

ESD01

Vigencia desde:

Marzo-2021

Código

ESD01

Página **274** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Contenido

3.8.	ENSAYO DE CARBONATACIÓN	274
3.8.1.	Objetivo.....	276
3.8.2.	Normas.....	276
3.8.3.	Usos.....	276
3.8.4.	Alcance.....	276
3.8.5.	Materiales y Equipo	277
3.8.6.	Procedimiento.....	277
3.8.6.1.	Diagrama de flujo	278
3.8.7.	Análisis de información	279
3.8.7.1.	Interpretación de datos.....	279
3.8.7.2.	Cálculos	279
3.8.8.	Glosario	280
3.8.9.	Bibliografía	280

Vigencia desde:

Marzo-2021

Código

ESD01

Página **275** de **473**



3.8.1. Objetivo

Este ensayo semi-destructivo tiene como objetivo determinar si el hormigón sufrió o no un proceso de carbonatación [\[1\]](#). La carbonatación en el concreto no es un problema mayor debido a que puede aumentar la resistencia a tracción y a compresión de la estructura; además, el avance de la carbonatación hacia el interior se produce de forma gradual a una velocidad proporcional a la raíz cuadrada del tiempo. El problema se da cuando el hormigón tiene un valor de Ph bajo; en esta situación, el acero quedaría desprotegido lo que llevaría a que se inicie un proceso de corrosión del mismo. (Prada, 2014; Vidaud & Vidaud, 2012)

3.8.2. Normas

- RILEM CPC-18
- ASTM STP205
- UNE-EN 14630

3.8.3. Usos

El ensayo de carbonatación es ampliamente utilizado en la actualidad; sus aplicaciones son (Prada, 2014; Vidaud & Vidaud, 2012):

- Resulta de gran ayuda para hacer una evaluación inicial de la presencia de carbonatación en la estructura.
- Teniendo en cuenta el área en la que se realiza el ensayo, se puede definir el porcentaje afectado por carbonatación con respecto al área total.
- Determinar una profundidad estimada de carbonatación.

3.8.4. Alcance

Es un ensayo que consiste en rociar con fenolftaleína a un hormigón recién fracturado, es decir que no haya sido anteriormente expuesto al aire. Sin embargo, no es recomendado debido a que recientes estudios afirman que la fenolftaleína puede provocar cáncer. (Sanjuán Fernández, 2014)

Algunas aplicaciones se presentan a continuación (Vidaud & Vidaud, 2012):

- Es útil para una inspección inicial de la presencia de carbonatación debido a que es un ensayo rápido, fácil de ejecutar y ampliamente utilizado en la actualidad.
- Establecer un estimado de la profundidad que ha alcanzado la carbonatación. Para confirmar el alcance es preciso utilizar microscopía óptica o electrónica.

La normativa española UNE-EN 14630 (2007) establece que este ensayo es apropiado para medir la profundidad de la capa carbonatada situada cerca de la superficie del hormigón endurecido. Se puede realizar “in situ” o en laboratorio con probetas, cilindros de ensayo o fragmentos tomados de la estructura.

Vigencia desde:	Código	Página 276 de 473
Marzo-2021	ESD01	



3.8.5. Materiales y Equipo

- Fenolftaleína [\[2\]](#)
- Martillo
- Cíncel
- Brocha
- Calibrador
- Jeringuilla o Rociador

3.8.6. Procedimiento

- 1) Elaborar una solución al 1% de fenolftaleína en hidro-alcohol (70% de alcohol y 30% de agua).
- 2) Limpiar el área donde se realizará el ensayo, generalmente en zonas donde se estime que puede existir carbonatación.
- 3) Con ayuda del cíncel y martillo, fracturar al hormigón.
- 4) Limpiar el polvo residual con la ayuda de la brocha.
- 5) Con la jeringuilla o rociador colocar mesuradamente la fenolftaleína en el agujero realizado, cubriendo todo el espacio del agujero.
- 6) Medir perpendicularmente desde la superficie hasta donde se produce el cambio de color (se mide una profundidad máxima y una mínima). En caso de tener una superficie muy irregular se toma varias mediciones y se realiza un promedio. No se debe medir donde se observe áridos grandes. Las medidas se deben aproximar al milímetro.
- 7) Una vez obtenida las mediciones se procede a rellenar la fractura con un concreto de mayor resistencia y se da por terminado el ensayo.



3.8.6.1. Diagrama de flujo

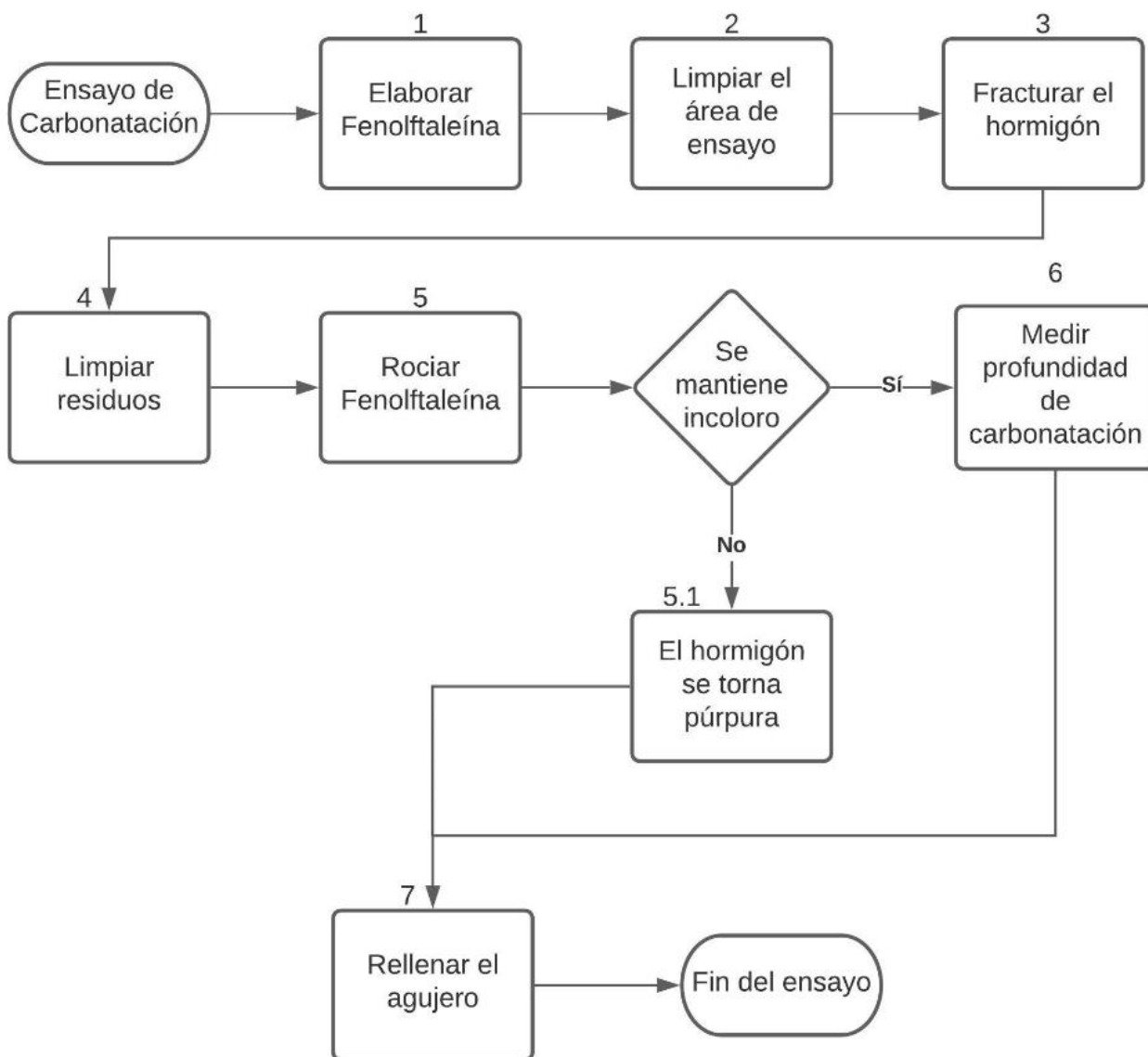


Diagrama de Flujo 10 Procedimiento para ensayo de Carbonatación. Fuente: (Autores)



3.8.7. Análisis de información

3.8.7.1. Interpretación de datos

Un hormigón endurecido normalmente tiene un Ph medio igual o superior a 12.5; la fenolftaleína se encuentra en la fractura del hormigón (Superficie de ensayo), ésta se torna de un color púrpura intenso cuando el Ph es mayor o igual 10 indicando un hormigón en buen estado. Por otro lado, cuando la fenolftaleína se presenta incolora en la superficie de ensayo significa que el hormigón está carbonatado. (Sanjuán Fernández, 2014)

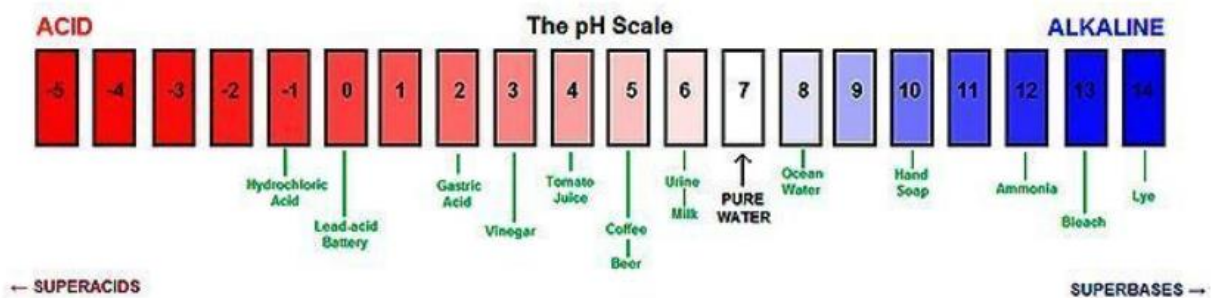


Gráfico 186 Escala de Ph, ensayo de Carbonatación. Fuente: (Sanjuán Fernández, 2014)

3.8.7.2. Cálculos

Con las medidas obtenidas se puede calcular la vida remanente [\[3\]](#) del concreto mediante el método más común que es el de la raíz cuadrada del tiempo:

$$d = k\sqrt{t}$$

$$t = \left(\frac{d}{k}\right)^2$$

Ecuación 16 Tiempo de desarrollo de carbonatación, ensayo de Carbonatación. Fuente: (Vidaud & Vidaud, 2012)

Donde:

t : Tiempo transcurrido. [años]

d : Profundidad de carbonatación. [mm]

k : factor de tasa de avance del CO₂. [mm/año^{0.5}]

$$t_r = t - \Delta t$$

Ecuación 17 Vida remanente, ensayo de Carbonatación. Fuente:

Donde:

t_r : Vida remanente. [años]

t : Tiempo transcurrido. [años]

Δt : edad de la estructura. [años]

Vigencia desde:	Código	Página 279 de 473
Marzo-2021	ESD01	



UNIVERSIDAD DE CUENCA

3.8.8. Glosario

- ^[1] Carbonatación: En el ensayo, carbonatación se refiere a la reacción química del CO_2 que está en el aire con los componentes hidratados del cemento.
- ^[2] Fenolftaleína: Es un indicador de Ph que en disoluciones ácidas permanece incoloro, pero en disoluciones básicas toma un color púrpura, su fórmula es $C_{20}H_{14}O_4$.
- ^[3] Vida remanente: La vida útil remanente es el tiempo de vida que le queda a la estructura para dejar de cumplir las funciones para la cual fue diseñada.

3.8.9. Bibliografía

- ASTM STP205. (1958). Carbonation of Hydrated Portland Cement. Cement and Concrete.
- Prada, D. (2014). Evaluación de la presencia de carbonatación en puentes vehiculares de concreto, localidades de Usaquén y Fontibón. In Trabajo de grado para optar título de Ingeniero Civil. Universidad Católica de Colombia. Recuperado de: <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/1677>
- RILEM CPC-18. (1988). Measurement of hardened concrete carbonation depth. Materials and Structures, 21, 453–455.
- Sanjuán Fernández, C. (2014). Carbonatación a fondo. Ensayo y determinación. Patología, Rehabilitación y Construcción. Recuperado de: <https://www.patologiasconstruccion.net/2014/05/carbonatacion-fondo-3-ensayo-y-determinacion-1-de-2/>
- UNE-EN 14630. (2007). Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón. Métodos de ensayo. Determinación de la profundidad de carbonatación en un hormigón endurecido por el método de la fenolftaleína. Norma Española.
- Vidaud, E., & Vidaud, I. (2012). La carbonatación en el concreto reforzado. Revista CYTC, 20–23. Recuperado de: <http://www.imcyc.com/revistacyt/enero2013/pdfs/ingenieria.pdf>

Vigencia desde:	Código	Página 280 de 473
Marzo-2021	ESD01	



UNIVERSIDAD DE CUENCA

3.9. ENSAYO DE ADHERENCIA (PULL OFF) ESD02

Vigencia desde:

Marzo-2021

Código

ESD02

Página **281** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Contenido

3.9.	ENSAYO DE ADHERENCIA (PULL OFF).....	281
3.9.1.	Objetivo.....	283
3.9.2.	Normas.....	283
3.9.3.	Usos.....	283
3.9.4.	Alcance.....	283
3.9.5.	Materiales y Equipo.....	283
3.9.6.	Procedimiento.....	284
3.9.6.1.	Diagrama de flujo	285
3.9.7.	Análisis de información	285
3.9.7.1.	Tipos de falla en el ensayo de adherencia.....	286
3.9.7.2.	Cálculo del esfuerzo de tensión.....	286
3.9.7.2.1.	Análisis de resultados.....	287
3.9.8.	Glosario	287
3.9.9.	Bibliografía	288

Vigencia desde:

Marzo-2021

Código

ESD02

Página **282** de **473**



3.9.1. Objetivo

Es uno de los ensayos no destructivos más empleados, el cual presenta resultados más confiables. Tiene como objetivo determinar la adherencia de los materiales de reparación y la resistencia a tensión en la superficie de los elementos de concreto. El ensayo consiste en transmitir tensión axial directa, con un equipo portátil, a un disco previamente adherido al concreto; buscando de esta manera la relación entre la resistencia a la compresión del material y la fuerza de tensión necesaria para jalar el disco unido a la capa de concreto. (Concrelab, 2020; Vidaud & Vidaud, 2014)

3.9.2. Normas

- ASTM D7234
- ASTM C1583
- ASTM D4541

3.9.3. Usos

El ensayo "Pull Off" cumple principalmente con dos propósitos (ASTM D7234, 2012; Vidaud & Vidaud, 2014):

- Evaluar la resistencia a tensión de la unión entre el material de reparación y el concreto reparado, morteros de pega y recubrimientos. (Concrelab, 2020)
- Estimar la resistencia de adherencia y modo de falla superficial del concreto.

3.9.4. Alcance

Los alcances y limitaciones del ensayo se indican a continuación (ASTM D7234, 2012; Concrelab, 2020; Vidaud & Vidaud, 2014):

- Sirve para preparar y probar los recubrimientos superficiales y evaluar sus resultados.
- No debe usarse para determinar la resistencia superficial del hormigón sin revestir. Para realizar el ensayo en superficies sin revestimiento se utiliza la normativa ASTM C1583.
- Puede ocuparse en cualquier elemento de una estructura, se necesita disponer de una cara expuesta del elemento que va a ser sometido al ensayo.
- El valor de esfuerzo a tracción se obtiene en MPa; es un método que afecta mínimamente a la estructura, es rápido y económico.

3.9.5. Materiales y Equipo

- Extractómetro: Es un equipo portátil (como se indica en el Gráfico 187); debe tener una superficie plana en un extremo que pueda adherirse al recubrimiento y un medio de fijación en el otro extremo. La superficie de unión puede ser circular, cuadrada o rectangular. (ASTM D7234, 2012) En caso de tener un hormigón sin revestimiento se utiliza un equipo similar a la Máquina de extracción hidráulica (ensayo Pull Out). (ASTM C1583, 2013)
- Discos de prueba: Los diámetros de los discos oscilan entre 20 y 75 mm (Gráfico 187). Generalmente, se utilizan discos con diámetro de 50 o 75 mm. (ASTM D7234, 2012)

Vigencia desde:	Código	Página 283 de 473
Marzo-2021	ESD02	



- Broca hueca de corona de diamante (en función del tamaño del disco de prueba): El diámetro de la broca debe coincidir con el del dispositivo de carga. En caso de no disponer, se utiliza el tamaño mayor más cercano disponible. (ASTM D7234, 2012)
- Resina epóxica: Es un adhesivo de endurecido rápido.
- Taladro



Gráfico 187 Equipo Pull Off Dyna Z 16. Fuente: (PROCEQ SA, 2002)

3.9.6. Procedimiento

- 1) Seleccionar una superficie de ensayo plana y lo suficientemente grande para que sea posible tomar varias mediciones. La distancia entre mediciones debe ser por lo menos la necesaria para acomodar el aparato extractor. (ASTM D4541, 2002)
- 2) Limpiar la superficie de residuos que puedan entorpecer la adherencia del disco de prueba. (Vidaud & Vidaud, 2014)
- 3) Marcar la zona de ensayo con la ayuda de la broca corona de diamante. Se realizan pequeños giros de la broca empleando presión con la mano hasta señalar el lugar donde se hará la perforación posterior con el taladro.
- 4) Perforar perpendicularmente la zona de ensayo con el taladro conjunto con la broca corona de diamante. La profundidad mínima de perforación deberá ser de 1.5cm. (Vidaud & Vidaud, 2014)
- 5) Preparar la resina epóxica [\[1\]](#) que servirá como adhesivo entre el disco y el hormigón. Se deberá preparar el adhesivo de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.
- 6) Colocar la resina epóxica al disco o a la superficie a ensayar; también se puede aplicar a ambos usando las especificaciones dadas por el fabricante de la resina. Asegurarse de aplicar el adhesivo en toda la superficie. El endurecimiento de la resina por lo general es de 2 a 5 minutos por lo que no se debe exceder este tiempo antes de continuar con el siguiente paso.
- 7) Colocar el disco sobre la superficie del concreto (Generalmente, 5 cm de diámetro).
- 8) Posicionar el extractómetro o equipo del ensayo "Pull Off" sobre el disco.

Vigencia desde:	Código	Página 284 de 473
Marzo-2021	ESD02	



- 9) Aumentar lentamente y de manera continua la carga al dispositivo, en lo posible a una velocidad de 1MPa/s o menos. (ASTM D4541, 2002)
- 10) Registrar la fuerza con la que falló o desprendió y el tipo de falla que se indica en la sección 3.9.7.1.

3.9.6.1. Diagrama de flujo

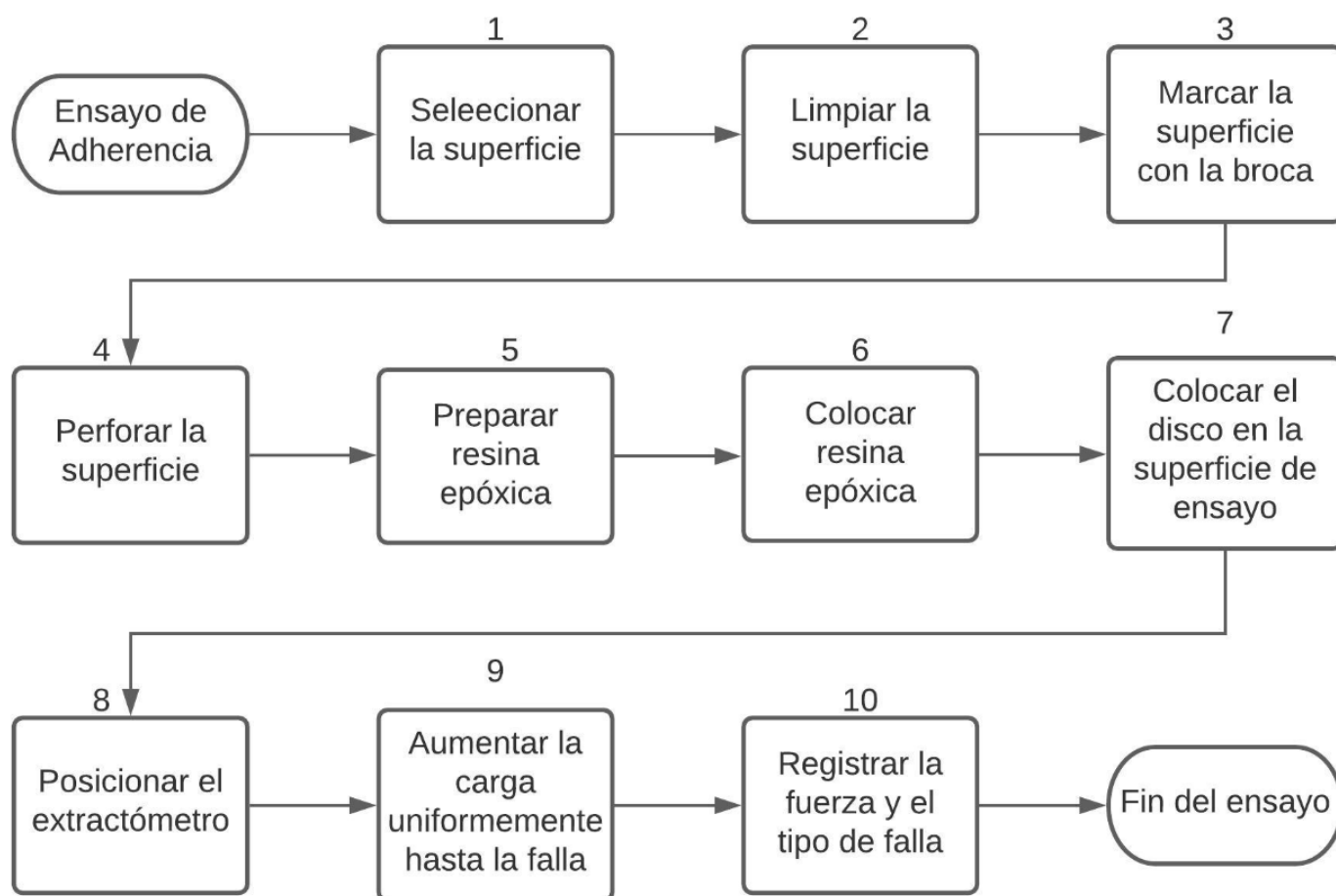


Diagrama de Flujo 11 Procedimiento para ensayo de Adherencia (Pull Off). Fuente: (Autores)

3.9.7. Análisis de información

El ensayo de adherencia determina la mayor tensión perpendicular que la superficie puede soportar, antes de que se separe del sustrato. La falla se presentará a lo largo del plano más débil dentro del sistema compuesto por el equipo de ensayo, el concreto de recubrimiento, el concreto del sustrato [\[2\]](#) y el material adhesivo (entre el concreto del sustrato y el concreto de recubrimiento; quedando expuesta la superficie de fractura. (Vidaud & Vidaud, 2014)

Vigencia desde:	Código	Página 285 de 473
Marzo-2021	ESD02	



3.9.7.1. Tipos de falla en el ensayo de adherencia

Existen cuatro tipos de falla. (Carro, 2018)

- Fallo adhesivo: Es el tipo de falla no deseable debido a que no existe compatibilidad entre el sustrato y el adhesivo o existe contaminación de la superficie de hormigón. El adhesivo queda pegado al concreto de recubrimiento. (Gráfico 188,a)
- Fallo intermedio: Es un tipo de falla adhesiva-cohesiva. Es decir, una parte del adhesivo se queda pegado a una de las caras y otra parte se separa. (Gráfico 188,b)
- Fallo cohesivo: Es el tipo de fallo deseable, se da cuando ocurre la rotura del adhesivo. En este caso, la resistencia de la unión es mayor que la resistencia a la tensión del material de recubrimiento. El adhesivo se parte por la mitad y queda pegado tanto al concreto de recubrimiento como al concreto del sustrato. (Gráfico 188,c)
- Fallo del sustrato: La falla se encuentra en el concreto del sustrato. Se da cuando la resistencia a tensión de la interfaz es mayor que la resistencia a la tensión del sustrato. Se prefiere este tipo de falla antes que el fallo adhesivo debido a que esto significa que el material de recubrimiento se ha concebido correctamente. (Gráfico 188,d)

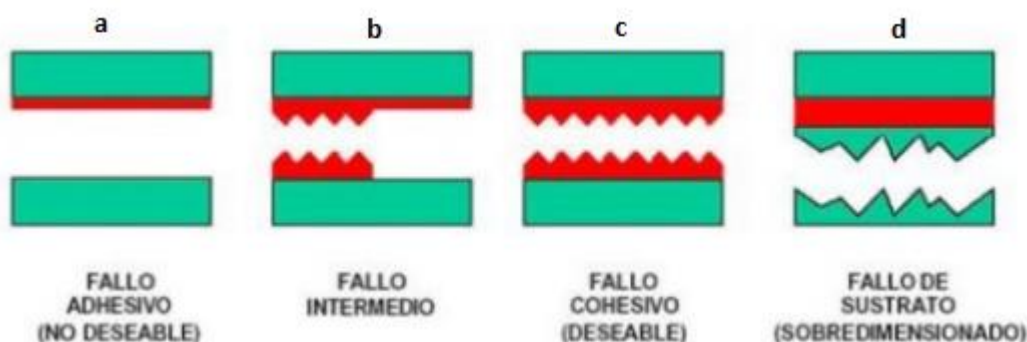


Gráfico 188 Tipos de falla, ensayo de Adherencia. Fuente: (Carro, 2018)

En el Gráfico 188 se muestra el concreto de recubrimiento (parte superior verde), el concreto de sustrato (parte inferior verde) y el adhesivo (rojo).

Aunque no es común, existe un quinto tipo de falla dado en el concreto de recubrimiento. Esto se da cuando la resistencia a tracción del recubrimiento es menor a la resistencia a tracción del concreto; esta falla no debe encontrarse, al menos que exista una deficiencia en el concreto.

3.9.7.2. Cálculo del esfuerzo de tensión

El esfuerzo de tensión directa o de adherencia puede ser calculado como la división entre la fuerza máxima obtenida por el extractómetro y el área de ensayo (Normalmente, el área del disco de prueba). (Vidaud & Vidaud, 2014)

Para el cálculo se utiliza la siguiente ecuación:

$$\sigma_T = \frac{4F}{\pi d^2}$$

Ecuación 18 Esfuerzo de tensión directa, ensayo de Adherencia. Fuente: (ASTM D7234, 2012)

Vigencia desde:	Código	Página 286 de 473
Marzo-2021	ESD02	



Donde:

σ_T : Esfuerzo de tensión directa o de adherencia. [MPa]

F: Fuerza real aplicada a la superficie del ensayo, obtenida con el extractómetro. [N]

d: Diámetro del área de ensayo. [mm]

3.9.7.2.1. Análisis de resultados

El resultado obtenido de esfuerzo de tensión directa no deberá ser menor a 1.4 MPa para poder realizar reparaciones. (ACI 440.2R, 2008)

Se puede estimar la resistencia a compresión del concreto mediante la siguiente relación:

$$f_t = \sqrt{\frac{f_c}{10}}$$

Ecuación 19 Esfuerzo de tensión directa, ensayo de Adherencia. Fuente: (Germann Instruments inc, n.d.-c)

Donde:

f_t : Resistencia a tensión. [MPa]

f_c : Resistencia a compresión. [MPa]

3.9.8. Glosario

- ^[1] Resina epóxica: Es un material de adherencia, que tiene elevada resistencia y fraguado rápido; puede alcanzar valores de resistencia a la tensión de alrededor de 10 MPa cuando está completamente curado. (Vidaud & Vidaud, 2014)
- ^[2] Sustrato: Hace referencia al concreto viejo, es decir el concreto que existía antes de la colocación de elementos o productos de reparación y recubrimiento.



3.9.9. Bibliografía

- ACI 440.2R. (2008). Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures. In ACI Committee 440. American Concrete Institute. Recuperado de: [https://doi.org/10.1061/40753\(171\)159](https://doi.org/10.1061/40753(171)159)
- ASTM C1583. (2013). Standard Test Method for Tensile Strength of Concrete Surfaces and the Bond Strength or Tensile Strength of Concrete Repair and Overlay Materials by Direct Tension (Pull-off Method). American Society for Testing and Materials. Recuperado de: <https://doi.org/10.1520/C1583>
- ASTM D4541. (2002). Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers. Recuperado de: <https://fliphtml5.com/ipxo/ferx/basic>
- ASTM D7234. (2012). Standard Test Method for Pull-Off Adhesion Strength of Coatings on Concrete Using Portable Pull-Off Adhesion Testers. American Society for Testing and Materials, 1–10. Recuperado de: <https://doi.org/10.1520/D7234-12.2>
- Carro, J. (2018). Ensayo de adherencia por tracción ("pull-off test"). MasScience. Recuperado de: <https://www.masscience.com/2018/08/10/ensayo-de-adherencia-por-traccion-pull-off-test/>
- Concrelab. (2020). Patología y Diseños. FICHA TÉCNICA Patología y Diseños.
- Germann Instruments inc. (n.d.). Pull Out. Lok, Capo, y Bond Test. Recuperado de: https://doi.org/10.1007/978-3-642-41714-6_164335
- PROCEQ SA. (2002). Haftprüfgerät Pull-off Tester.
- Vidaud, E., & Vidaud, I. (2014). Prueba de "Pull Off" para evaluar la adherencia de los materiales de reparación en concreto. Construcción y Tecnología En Concreto, 3.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

3.10. ENSAYO DE NÚCLEOS PERFORADOS ESD03

Vigencia desde:

Marzo-2021

Código

ESD03

Página **289** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Contenido

3.10.	ENSAYO DE NÚCLEOS PERFORADOS	289
3.10.1.	Objetivo.....	291
3.10.2.	Normas.....	291
3.10.3.	Usos.....	291
3.10.4.	Alcance.....	291
3.10.5.	Materiales y Equipo.....	292
3.10.6.	Procedimiento.....	292
3.10.6.1.	Recomendaciones previas al ensayo.....	292
3.10.6.2.	Procedimiento para extracción de núcleos	293
3.10.6.3.	Diagrama de flujo	297
3.10.6.4.	Procedimiento post extracción	297
3.10.7.	Análisis de información	298
3.10.7.1.	Corrección por esbeltez.....	298
3.10.7.2.	Criterios para la aceptación de resistencia de núcleos.....	298
3.10.8.	Glosario	298
3.10.9.	Bibliografía	299

Vigencia desde:

Marzo-2021

Código

ESD03

Página **290** de **473**



3.10.1. Objetivo

Es un ensayo semi destructivo que tiene como función principal la obtención de la resistencia a compresión del hormigón hidráulico de una estructura existente. Este ensayo es utilizado cuando la estructura muestra síntomas de deterioro, cuando se presentan dudas sobre la calidad del concreto, en estructuras antiguas y fundamentalmente en donde se necesita encontrar más información sobre las condiciones y resistencia del concreto. (ICCG, 2019)

3.10.2. Normas

- ASTM C42
- Norma Mexicana NMX C-169

3.10.3. Usos

El ensayo de Núcleos Perforados se realiza “in situ” para posteriormente conseguir la resistencia del hormigón en el laboratorio (ASTM C42, 2004). Puede ocuparse en cualquier elemento de una estructura; sin embargo, se debe tener en cuenta que la extracción no se debe realizar en lugares donde exista acero de refuerzo, oquedades, juntas, segregaciones, fisuras. Debe considerarse también que, en ocasiones, puede ser complicado obtener permisos para sacar las muestras de la estructura.

3.10.4. Alcance

El ensayo de núcleos perforados se debe realizar “in situ” pero las muestras obtenidas regularmente son llevadas al laboratorio para ser evaluadas. Se deben tomar en cuenta las siguientes recomendaciones (ASTM C42, 2004; ICCG, 2019):

- Si el hormigón fue colocado recientemente se debe esperar hasta que el mismo esté endurecido, por lo menos 14 días, para poder realizar el ensayo.
- Es complicado que la humedad del hormigón al momento del ensayo sea la misma que en la estructura, por lo tanto, debe considerarse que la cantidad y la distribución de la humedad son factores que afectan a la resistencia del hormigón obtenida en los ensayos.
- Si la estructura no estará expuesta a la humedad, los núcleos se secan al aire durante cinco días antes de la prueba; por otra parte, si la estructura va a estar expuesta a la humedad los núcleos serán sumergidos en agua durante al menos 40 horas antes de la prueba. El ensayo de compresión deberá realizarse dentro de siete días desde la extracción.
- Es importante evitar cualquier golpe de los núcleos, ya sea al momento de su extracción, transporte o curado.
- El diámetro mínimo del núcleo extraído, para determinar la resistencia a compresión de un elemento estructural portante, es de 94 mm (3.7”). Para un elemento estructural no portante o cuando no se puede conseguir una relación Longitud/Diámetro (L/D) mayor o igual a uno, se pueden extraer núcleos con diámetro menor a 94 mm.
- El diámetro obtenido de un núcleo con un tamaño máximo nominal mayor o igual a 3.75 mm (1.5”) debe ser tres veces el tamaño máximo del agregado.

Vigencia desde:	Código	Página 291 de 473
Marzo-2021	ESD03	



- La longitud recomendada para el núcleo está entre 1.9 y 2.1 veces el diámetro. Si la relación L/D excede a 2.1, la longitud debe reducirse hasta cumplir con el rango. En caso de que la relación L/D sea igual o menor a 1.75 se debe utilizar un factor de corrección, descrito en la Tabla 33.
- Si el cabezal del equipo con dientes de diamante se encuentra en malas condiciones, el núcleo no va a ser cortado y sacado libremente.
- Para una correcta estimación de la resistencia del concreto a compresión se deben extraer al menos tres núcleos de cada elemento estructural.

3.10.5. Materiales y Equipo

- Extractor de núcleos
- Broca cilíndrica (con corona de diamante)
- Taladro con brocas para hormigón (corona de diamante)
- Suministro de agua
- Martillo de goma



Gráfico 189 Equipo Extractor de Núcleos. Fuente: (Tritan Diamond Tools, 2017)

3.10.6. Procedimiento

3.10.6.1. Recomendaciones previas al ensayo

Para realizar el ensayo de núcleos perforados, se necesita ayuda de personal que esté familiarizado con la máquina, que conozca sus posibilidades y sus limitaciones. Al momento de realizar el ensayo se deben considerar varias recomendaciones para no tener problemas al momento de usar el equipo (Construmática et al., 2010):

- Elegir el extractor de núcleos que se va a emplear en el ensayo. Para esto se debe tener en cuenta el diámetro y profundidad de la perforación y seleccionar si el corte se va a realizar en seco o de manera húmeda.

Vigencia desde:	Código	Página 292 de 473
Marzo-2021	ESD03	



- Los equipos de extractor de núcleos necesitan agua para refrigerar y lavar el corte de hormigón simple o armado. El agua es abastecida desde un depósito de agua a presión o desde un grifo de la red de agua; en ningún caso se debe abastecer a la máquina con agua sucia.
- Cuando la perforación se va a realizar en un hormigón poroso no se necesita refrigeración de agua; en dicha situación la máquina deberá conectarse a un sistema de aspiración de polvo para evitar la inhalación de agentes químicos cancerígenos.
- El sistema de refrigeración de agua o de aspiración de polvo, dependiendo el caso, deberá mantenerse en funcionamiento durante todo el proceso e incluso unos segundos después de que el motor sea apagado.
- La velocidad de la máquina va a estar relacionada directamente con el diámetro y con los materiales en los que se realizará el ensayo. Para hormigones simples o armados se recomiendan velocidades bajas al igual que en coronas de grandes diámetros. Para coronas de diámetro pequeño las velocidades pueden ser más altas.

El corte con este equipo no se debe realizar en las siguientes situaciones (Construmática et al., 2010):

- Por encima de los hombros.
- Sobre escaleras o andamios.
- En zonas con poco acceso.
- En posiciones demasiado inclinadas.

Una vez terminado el ensayo, esperar un tiempo prudente hasta que la corona se enfríe antes de tocarla.

Adicionalmente, se deben realizar comprobaciones diarias para verificar las condiciones de la máquina y garantizar un correcto funcionamiento. (Construmática et al., 2010)

- Comprobar que la máquina no tenga algún golpe o daño estructural evidente.
- Verificar el correcto funcionamiento del interruptor de accionamiento.
- Verificar la funcionalidad del sistema de fijación del soporte.
- Verificar que el sistema de refrigeración o de aspiración de polvo funcione correctamente.
- Verificar el estado de las roscas de la corona, del adaptador y del dispositivo portacoronas.
- Verificar que las coronas estén en buen estado, limpias y afiladas.
- Verificar que la longitud del cable eléctrico sea suficiente para trabajar sin ningún contratiempo y que el estado del cable sea bueno.
- Verificar el correcto funcionamiento del interruptor de protección (PRCD [1](#)).
- Verificar que la máquina no contenga materiales aceitosos o inflamables.
- Verificar que la empuñadura se encuentre limpia y seca.

3.10.6.2. Procedimiento para extracción de núcleos

Para la obtención del núcleo se debe realizar el siguiente procedimiento (Hilti Group, 2017):

- 1) Elegir y marcar el punto de donde se va a extraer la muestra.
- 2) Con la distancia referenciada en el equipo, marcar el punto de fijación del equipo.

Vigencia desde:	Código	Página 293 de 473
Marzo-2021	ESD03	



UNIVERSIDAD DE CUENCA



Gráfico 190 Distancia para fijación de equipo, ensayo de Núcleos perforados. Fuente: (Hilti Group, 2017)

- 3) Perforar con el taladro en el punto marcado y limpiar el polvo residual. En este hueco entrará el tornillo de fijación.



Gráfico 191 Perforación para fijación de equipo, ensayo de Núcleos perforados. Fuente: (Hilti Group, 2017)

- 4) Anclar el tornillo de fijación.



Gráfico 192 Anclaje de tornillo, ensayo de Núcleos perforados. Fuente: (Hilti Group, 2017)

- 5) Colocar el equipo y asegurar el tornillo de fijación con ayuda de una tuerca.
6) Asegurar los cuatro tornillos de la placa base.

Vigencia desde:

Marzo-2021

Código

ESD03

Página **294** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA



Gráfico 193 Fijación de los tornillos, ensayo de Núcleos perforados. Fuente: (Hilti Group, 2017)

- 7) De ser necesario, colocar la palanca o volante de control de presión.
- 8) Colocar y asegurar la broca corona de diamante.



Gráfico 194 Colocación de la broca, ensayo de Núcleos perforados. Fuente: (Hilti Group, 2017)

- 9) Conectar el suministro de agua.



Gráfico 195 Suministro de agua, ensayo de Núcleos perforados. Fuente: (Hilti Group, 2017)

- 10) Conectar el sistema PRCD, anteriormente probado.
- 11) Humedecer el piso.
- 12) Encender el equipo.
- 13) Aplicar una pequeña presión para iniciar la perforación. Al inicio las velocidades son bajas y después se incrementan.

Vigencia desde:	Código	Página 295 de 473
Marzo-2021	ESD03	



UNIVERSIDAD DE CUENCA

- 14) Incrementar la presión a medida que avanza el ensayo. Algunos equipos cuentan con un sensor que indica la presión óptima.



Gráfico 196 Incremento de presión para ingresar la broca, ensayo de Núcleos perforados. Fuente: (Hilti Group, 2017)

- 15) Extraer la broca del elemento estructural y apagar el motor.
16) Golpear con ayuda del martillo de goma la broca para sacar cuidadosamente el núcleo.
17) Cubrir los agujeros utilizando un concreto de mayor resistencia con un aditivo expansor para eliminar la contracción por secado.

Vigencia desde:	Código	Página 296 de 473
Marzo-2021	ESD03	



3.10.6.3. Diagrama de flujo

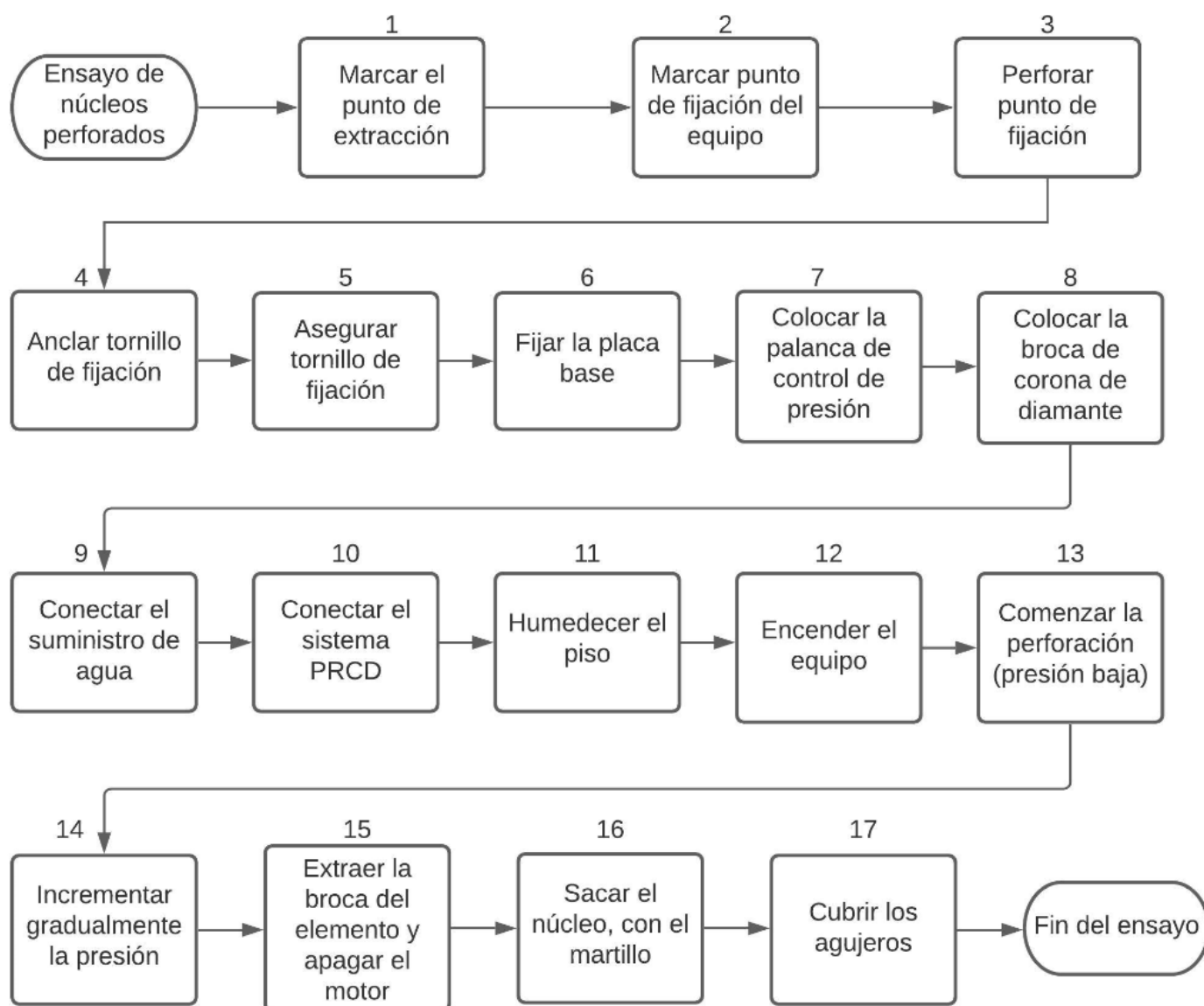


Diagrama de Flujo 12 Procedimiento para ensayo de Núcleos perforados. Fuente: (Autores)

3.10.6.4. Procedimiento post extracción

Una vez terminado el proceso de extracción, se debe limpiar la superficie con agua y permitir que la humedad superficial remanente se evapore, hasta máximo una hora luego de haber terminado el ensayo. Cuando la superficie esté aparentemente seca, colocar los núcleos en bolsas plásticas separadas o en recipientes no absorbentes y sellados para prevenir la pérdida de humedad. Cada núcleo se debe identificar con una etiqueta que contenga nombre de la estructura, localización y fecha de la extracción, orientación de la perforación y un número único. Los núcleos deben mantenerse sellados por al menos cinco días; se retiran los recipientes antes de realizar el ensayo de compresión y se tiene máximo dos horas para cabecearlo [\[2\]](#), cumpliendo los

Vigencia desde:	Código	Página 297 de 473
Marzo-2021	ESD03	



requisitos de perpendicularidad y planeidad para el ensayo de compresión según la norma ASTM C39 o la norma NTE INEN 1 573. (ASTM C42, 2004)

3.10.7. Análisis de información

3.10.7.1. Corrección por esbeltez

Para conocer la resistencia a compresión de cada espécimen se utiliza el área de la sección transversal basada en el diámetro promedio de la muestra. Si la relación entre la longitud y el diámetro (L/D) de la muestra es igual o menor a 1.75, se debe corregir el resultado multiplicando por el factor de corrección apropiado. Los factores de corrección se indican en la Tabla 33.

Relación L/D	Factor de Corrección
1.75	0.98
1.5	0.96
1.25	0.93
1	0.87

Tabla 33 Factor de corrección por esbeltez, ensayo de Núcleos perforados. Fuente: (ASTM C42, 2004)

Si el valor de la relación L/D no se encuentra en la tabla presentada, se debe interpolar para conseguir el factor de corrección. (ASTM C42, 2004)

3.10.7.2. Criterios para la aceptación de resistencia de núcleos

El ACI 318, considera que la resistencia obtenida a través de los núcleos es estructuralmente adecuada cuando cumple con los siguientes criterios (ACI 318S, 2014):

- El promedio de las resistencias de los núcleos debe ser igual o mayor al 85% de la resistencia especificada.
- Ninguna de las resistencias de los núcleos debe ser menor al 75% de la resistencia especificada.

3.10.8. Glosario

- ^[1] PRCD: Es un interruptor de protección montado en el cable de red que comprende tanto un seleccionador de protección contra corriente defectuosa como un disparador de tensión mínima. No anular nunca estos dispositivos. (Construmática et al., 2010)
- ^[2] Cabecearlo: Viene del verbo cabecear, es la acción de aplanar o dar forma al núcleo para cumplir con los requisitos de perpendicularidad y planeidad del equipo del ensayo de compresión. Debe cumplirse con la norma ASTM C617.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

3.10.9. Bibliografía

- ACI 318S. (2014). Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural y Comentario. American Concrete Institute.
- ASTM C42. (2004). Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete.
- Construmática, Confederación Nacional de Construcción, & Aseamac. (2010). Uso Seguro de la Perforadora de Corona. Construpedia. Recuperado de: https://www.construmatica.com/construpedia/Uso_Seguro_de_la_Perforadora_de_Corona
- Hilti Group. (2017). HOW TO use Hilti DD 120 diamond coring tool for wet drilling into concrete. Core Drills. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=eEKH6cy7WJU>
- ICCG. (2019). Núcleos perforados para la evaluación de la resistencia a compresión del concreto endurecido. Boletín Técnico ICCG.
- Norma Mexicana NMX C-169. (1997). Norma Mexicana NMX C-169-1997- ONNCCE.
- Tritan Diamond Tools. (2017). Broca Sacanúcleos. Taladro Sacanúcleos. Recuperado de: <https://www.brocasacanucleos.com/>

Vigencia desde:

Marzo-2021

Código

ESD03

Página **299** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

3.11. ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA EIP01

Vigencia desde:

Marzo-2021

Código

EIP01

Página **300** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Contenido

3.11.	ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA	300
3.11.1.	Objetivo.....	302
3.11.2.	Normas.....	302
3.11.3.	Usos.....	302
3.11.4.	Alcance.....	302
3.11.5.	Materiales y Equipo	303
3.11.6.	Procedimiento.....	303
3.11.6.1.	Diagrama de flujo	305
3.11.7.	Análisis de información	306
3.11.7.1.	Interpretación de resultados.....	306
3.11.7.2.	Corrección por Carbonatación	307
3.11.7.2.1.	Factor de corrección por profundidad de carbonatación	307
3.11.7.2.2.	Coeficiente de tiempo.....	307
3.11.7.3.	Correlación con Núcleos Perforados	308
3.11.8.	Glosario	308
3.11.9.	Bibliografía	309

Vigencia desde:

Marzo-2021

Código

EIP01

Página **301** de **473**



3.11.1. Objetivo

Debido a su simplicidad, velocidad y bajo costo es el ensayo para hormigón más utilizado. Este ensayo no destructivo se utiliza principalmente para evaluar la dureza superficial del hormigón, estimar la resistencia del hormigón in situ y marcar regiones de la estructura que presenten calidad menor. Esto se obtiene a partir de la relación que existe entre la dureza de una superficie y la energía del rebote. (ASTM C805, 1997; Villagómez, 2016)

3.11.2. Normas

- ASTM C805
- NTE INEN 3121
- ACI 228.1R

3.11.3. Usos

Los principales usos son (ASTM C805, 1997; Villagómez, 2016):

- Evaluar la dureza superficial del hormigón.
- Estimar la resistencia del hormigón “in situ”.
- Evaluar la uniformidad del hormigón.
- Determinar regiones con mala calidad o deterioradas.

3.11.4. Alcance

Existen varios factores que pueden afectar los resultados del esclerómetro por lo que se deben tener en consideración. (Angamarca & Caguana, 2018; ASTM C805, 1997; Vásquez & Vásquez, 2017)

- El ensayo se puede utilizar en cualquier tipo de hormigón, sin embargo, se debe comprobar que el equipo esté calibrado.
- En caso de tener superficies rugosas, de alta porosidad o áreas con vacíos entre el agregado grueso se debe pulir hasta conseguir una superficie lisa. Adicionalmente, se deben evitar áreas con acabados.
- Debido a que el ensayo de esclerometría da como resultado una estimación de la resistencia de hormigón no puede ser usado para aceptar o rechazar el hormigón.
- El valor obtenido en el rebote se puede ver afectado cuando existen superficies carbonatadas, por las condiciones de curado o cuando se tienen superficies secas [\[1\]](#). Este valor también puede variar cuando el impacto se realiza en el lugar donde se encuentra el refuerzo o sobre partículas duras, vacías, suaves.
- Se pueden presentar situaciones en las cuales los hormigones con la misma resistencia tienen un rebote diferente, en otros casos los hormigones con diferente resistencia tienen un rebote igual. Esto puede explicarse por la rigidez [\[2\]](#) del hormigón; un hormigón de poca resistencia puede presentar una rigidez mayor que un hormigón de alta resistencia.
- El ensayo se debe realizar en elementos de concreto que tenga un grosor no menor a 10 centímetros y un diámetro mínimo de 15 centímetros.

Vigencia desde:	Código	Página 302 de 473
Marzo-2021	EIP01	



3.11.5. Materiales y Equipo

- Esclerómetro
- Piedra abrasiva



Gráfico 197 Equipo de esclerometría. Fuente: (PROCEQ SA, 2016)

3.11.6. Procedimiento

- 1) Colocar el martillo en modo de medición única y realizar mínimo tres impactos antes de tomar alguna lectura.
- 2) Con ayuda del yunque de calibración [\[3\]](#) verificar el correcto funcionamiento del esclerómetro, ejecutar 10 impactos en el yunque y verificar que el valor medio se encuentre dentro del rango establecido por el fabricante.
En caso de que el valor medio esté fuera del rango, comprobar la operación del punzón. Generalmente este problema es a causa de la suciedad, para arreglar este problema limpiar el punzón con un trapo y aplicar dos gotas de aceite ligero, girar y hundir varias veces el punzón para distribuir uniformemente el aceite. Eliminar el aceite excesivo antes de usar el martillo.
Si el problema continúa se debe buscar personal autorizado.
- 3) En caso de no tener una superficie lisa, usar la piedra abrasiva para eliminar las superficies rugosas o porosidades.
A veces el hormigón tiene una capa carbonatada en su superficie, en este caso existen dos posibilidades:
 - La capa carbonatada debe ser eliminada antes de ejecutar el ensayo.
 - Realizar el ensayo antes y después de retirar la capa carbonatada, obteniendo un factor de corrección llamado “coeficiente de tiempo”.
- 4) Sostener el esclerómetro de manera perpendicular a la superficie.
- 5) Empujar el martillo hacia la superficie, dependiendo de la dureza del hormigón rebota con mayor o menor fuerza. El proceso se muestra en el Gráfico 198.

Vigencia desde:	Código	Página 303 de 473
Marzo-2021	EIP01	



UNIVERSIDAD DE CUENCA

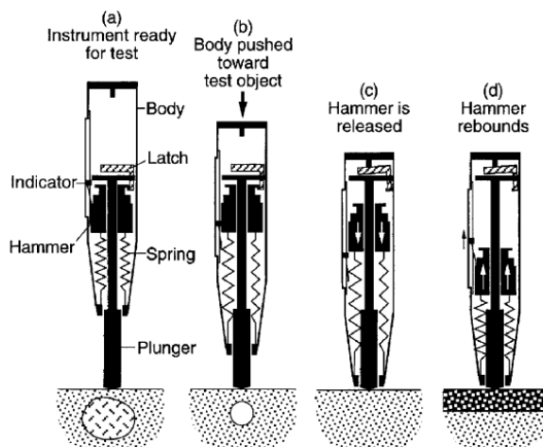


Gráfico 198 Mecanismo de funcionamiento del esclerómetro, ensayo de esclerometría. Fuente: (ACI 228.1R, 2003)

- 6) Leer y anotar el número de rebote indicado en el esclerómetro.
- 7) Tomar 10 lecturas de cada área de ensayo. Realizar los impactos a una distancia mínima de 2.5 cm entre sí, se recomienda trazar un plano que contenga la ubicación de cada golpe; descartar las lecturas que difieran en 6 unidades. En caso de que existan dos lecturas que difieran del promedio en 6 unidades, descartar el conjunto de lecturas del área de ensayo.
- 8) Analizar la superficie de concreto luego del impacto, si existen agrietamientos o fisuras se descartan los valores obtenidos, debido a la existencia de vacíos de aire, y se toman nuevos.

Vigencia desde:	Código	Página 304 de 473
Marzo-2021	EIP01	



3.11.6.1. Diagrama de flujo

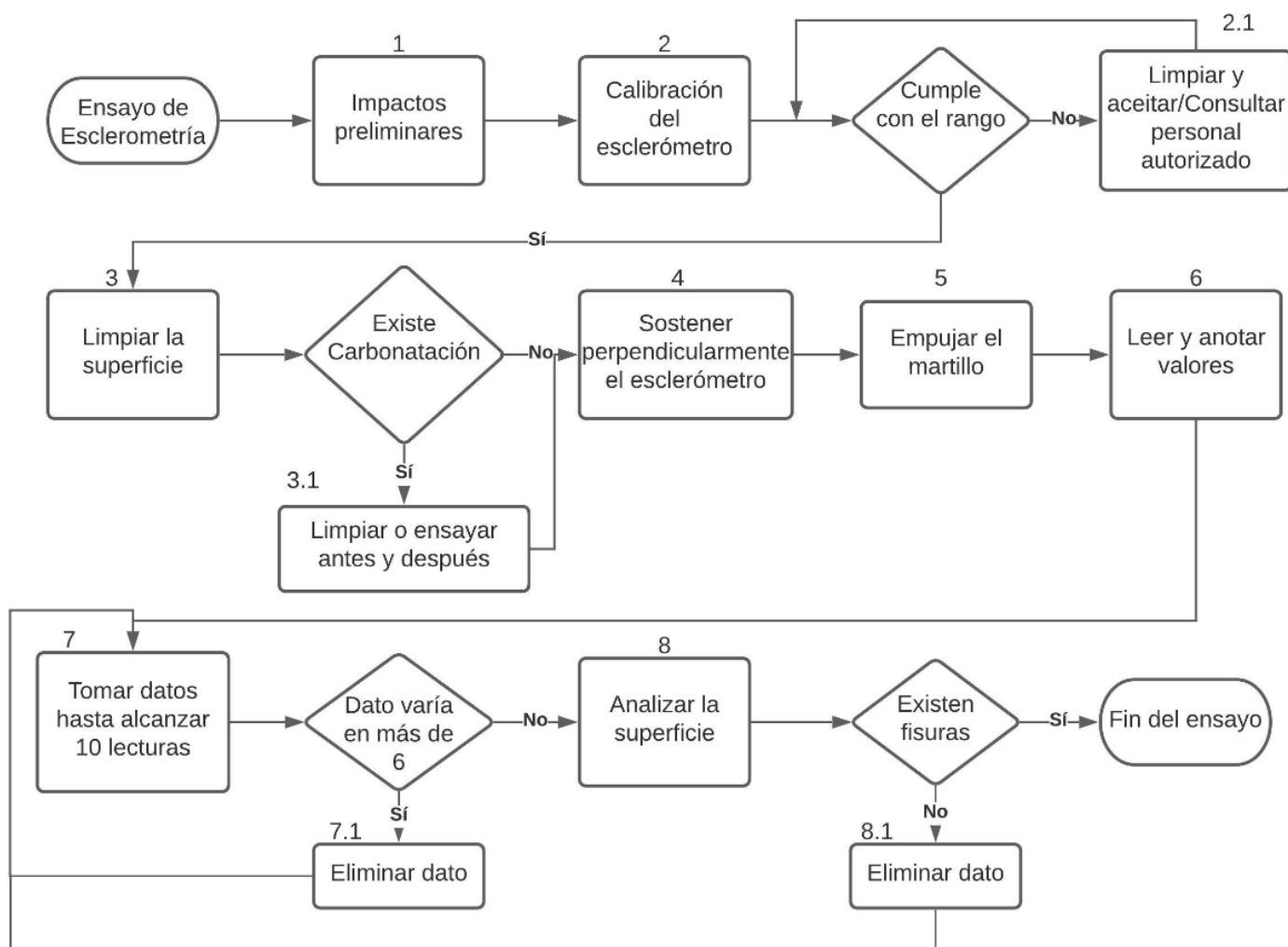


Diagrama de Flujo 13 Procedimiento de Esclerometría. Fuente: (Autores)



3.11.7. Análisis de información

3.11.7.1. Interpretación de resultados

Con el esclerómetro se obtiene Q (índice esclerométrico) el cual es el promedio de los impactos realizados y representa un aproximado de la resistencia a compresión del hormigón ensayado.

Los esclerómetros incluyen curvas de correlación desarrolladas por el fabricante, las cuales están en función de la posición en que se utiliza el esclerómetro; como se muestra en el Gráfico 199.

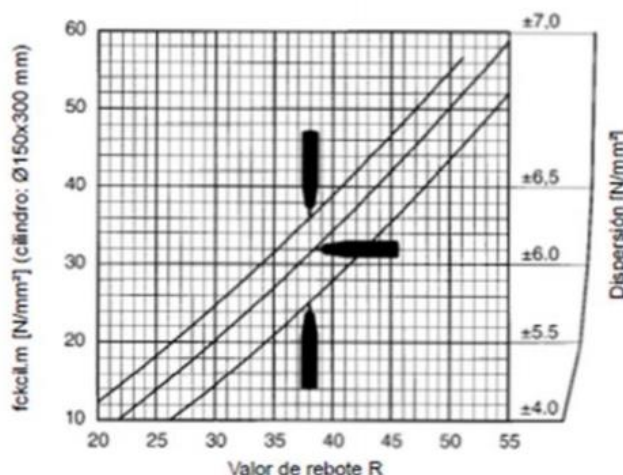


Gráfico 199 Curvas de conversión del esclerómetro, ensayo de esclerometría. Fuente: (PROCEQ SA, 2016)

En el eje X están los índices esclerométricos “Q” (representado como R en el Gráfico 199) y en el eje Y la resistencia a compresión del hormigón en N/mm^2 . Para utilizar las curvas del fabricante, buscar el valor del rebote obtenido con el martillo, trazar una línea vertical hasta la curva que corresponda a la posición utilizada del esclerómetro y dibujar una línea horizontal hacia la izquierda. El punto donde se une la línea con el eje Y representa la resistencia del hormigón en N/mm^2 . Se transforman las unidades en caso de ser necesario.

Las tablas del fabricante del esclerómetro difieren mucho con la realidad por las condiciones en las que fueron elaboradas, en cada caso particular son distintas. Se debe recordar que las curvas del fabricante son utilizadas con materiales distintos a los utilizados en Ecuador por lo que no se recomienda el uso de las mismas. (Villagómez, 2016)

Para una mejor aproximación de la resistencia a compresión, se debe obtener curvas propias en relación al proyecto en el que se está trabajando. Esto se consigue mediante correlaciones con otros ensayos, creando modelos combinados. Las principales correlaciones se producen con los ensayos de Ultrasonido y Extractor de Núcleos.

Vigencia desde:	Código	Página 306 de 473
Marzo-2021	EIP01	



3.11.7.2. Corrección por Carbonatación

La carbonatación forma una capa endurecida en la superficie, al momento de realizar el ensayo de esclerometría esta capa puede causar una sobreestimación considerable. Para corregir este problema se presentan dos alternativas.

3.11.7.2.1. Factor de corrección por profundidad de carbonatación

La aplicación de este método consiste en aplicar un factor de corrección al índice esclerométrico en función de la profundidad de carbonatación. La Tabla 34 muestra los factores que se deben utilizar.

En caso de que la profundidad de carbonatación se encuentre entre los valores indicados en la Tabla 34, se recomienda interpolar para obtener una mejor aproximación.

Profundidad de carbonatación (cm)	Factor de corrección
0.5	0.97
1	0.94
1.5	0.9
2	0.87
2.5	0.84
3	0.8
3.5	0.78
4	0.74
4.5	0.72
5	0.68
5.5	0.65
6 o mayor	0.62

Tabla 34 Factores de corrección por profundidad de carbonatación, ensayo de esclerometría. Fuente: (Sanjuán Fernández, 2014)

3.11.7.2.2. Coeficiente de tiempo

Según lo establecido en el paso 3 de la sección 3.11.6, en caso que exista presencia de carbonatación, el ensayo de esclerometría se puede realizar antes y después de la eliminación de la capa carbonatada. Con este proceso se obtiene el “Coeficiente de tiempo” (Z_f), el cual es un factor de corrección que podrá utilizarse para compensar los resultados obtenidos en diferentes zonas de la estructura en estudio. (PROCEQ SA, 2016)

3.11.7.2.2.1. Cálculos

Para obtener el Coeficiente de tiempo (Z_f) se utiliza la siguiente ecuación:

$$Z_f = \frac{f'_{c_{sc}}}{f'_{c_{cc}}}$$

Ecuación 20 Coeficiente del tiempo, ensayo de esclerometría. Fuente: (PROCEQ SA, 2016)

Vigencia desde:	Código	Página 307 de 473
Marzo-2021	EIP01	



Donde:

$f'_{c_{sc}}$: Resistencia a la compresión estimada medida en una superficie de hormigón sin carbonatación.

$f'_{c_{cc}}$: Resistencia a la compresión estimada medida en una superficie carbonatada.

3.11.7.3. Correlación con Núcleos Perforados

Para mejorar la precisión del ensayo, es recomendado realizar el ensayo de Núcleos perforados (sección 3.10).

Los resultados obtenidos en estos ensayos se pueden correlacionar de la siguiente manera:

$$k_i = \frac{R_{cp}}{R_e}$$

Ecuación 21 Factor de corrección de resistencia. Fuente: (Mogrovejo Carrasco & García, 2006)

Donde:

k_i : Factor de corrección de resistencia.

R_{cp} : Resistencia a compresión de la probeta testigo o núcleo.

R_e : Resistencia a compresión asociada con el índice esclerométrico sin corregir (Q).

$$R_a = k_i * R_e$$

Ecuación 22 Resistencia a compresión corregida. Fuente: (Mogrovejo Carrasco & García, 2006)

Donde:

R_a : Resistencia a compresión corregida.

3.11.8. Glosario

- ^[1] Superficies secas: Se da cuando existe humedad mayor en el interior del elemento de hormigón
- ^[2] Rigidez: es la propiedad que tiene un elemento estructural para oponerse a las deformaciones. Es decir, es la capacidad de soportar cargas sin deformarse excesivamente.
- ^[3] Yunque de calibración: Elemento de acero utilizado para calibrar el esclerómetro, tiene una dureza de 52HRC y un diámetro aproximado de 15 cm. Generalmente viene como un accesorio del equipo.



3.11.9. Bibliografía

- ACI 228.1R. (2003). In-Place Methods to Estimate Concrete Strength Reported. ACI Committee Reports, 228, 1R, 44.
- Angamarca, J., & Caguana, D. (2018). Evaluación patológica de infraestructuras hidráulicas de Elecaustro. In Trabajo de Titulación, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil. Universidad de Cuenca. Recuperado de: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/31516>
- ASTM C805. (1997). Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete. American Society for Testing and Materials, 1–3.
- NTE INEN 3121. (2016). Hormigón endurecido. Determinación del número de rebote. Método de ensayo. Norma Técnica Ecuatoriana.
- PROCEQ SA. (2016). Manual de operación SilverSchmidt y Hammerlink. Recuperado de: https://www.proceq.com/uploads/tx_proceqproductcms/import_data/files/SilverSchmidt_Operating_Instructions_Spanish_high.pdf
- Sanjuán Fernández, C. (2014). Carbonatación a fondo. Ensayo y determinación. Patología, Rehabilitación y Construcción. Recuperado de: <https://www.patologiasconstruccion.net/2014/05/carbonatacion-fondo-3-ensayo-y-determinacion-1-de-2/>
- Vásquez, C. A., & Vásquez, C. A. (2017). Análisis de patologías en la plataforma de rieles del proyecto Tranvía cuatro ríos de Cuenca. In Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil. Universidad de Cuenca. Recuperado de: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28572>
- Villagómez, L. (2016). Predicción de la resistencia a la compresión del hormigón mediante métodos de ensayo no destructivo para hormigones convencionales en Pichincha, Ecuador. In Trabajo de titulación presentado como requisito para la obtención del título de Ingeniero Civil. Universidad San Francisco de Quito. Recuperado de: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/5986/1/129201.pdf>
- Mogrovejo Carrasco, D., & García, G. (2006). Evaluación y Diagnóstico de los pórticos del Puente Asunción. In Informe técnico.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

3.12. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA EXTRACCIÓN POR DESLIZAMIENTO (PULL OUT) EIP02

Vigencia desde:

Marzo-2021

Código

EIP02

Página **310** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Contenido

3.12.	ENSAYO DE RESISTENCIA A LA EXTRACCIÓN POR DESLIZAMIENTO (PULL OUT)	310
3.12.1.	Objetivo.....	312
3.12.2.	Normas.....	312
3.12.3.	Usos.....	312
3.12.4.	Alcance.....	312
3.12.5.	Materiales y Equipo.....	313
3.12.5.1.	Equipo de “Pull Out” para estructuras en construcción o nuevas	313
3.12.5.2.	Equipo de “Pull Out” para estructuras existentes o antiguas	314
3.12.6.	Procedimiento.....	316
3.12.6.1.	Procedimiento de “Pull Out” para estructuras en construcción o nuevas (Lok-Test)316	
3.12.6.1.1.	Diagrama de flujo.....	317
3.12.6.2.	Procedimiento de “Pull Out” para estructuras en existentes o antiguas (Capo-Test)318	
3.12.6.2.1.	Diagrama de flujo.....	322
3.12.7.	Análisis de información	322
3.12.7.1.	Interpretación de datos.....	322
3.12.7.1.1.	Rechazo de datos	322
3.12.7.1.2.	Resistencia estimada.....	322
3.12.8.	Glosario	323
3.12.9.	Bibliografía	324

Vigencia desde:

Marzo-2021

Código

EIP02

Página **311** de **473**



3.12.1. Objetivo

Es un ensayo que, de acuerdo al uso, puede ser semi destructivo o no destructivo. Esta prueba mide la fuerza necesaria para extraer un inserto de acero embebido en el hormigón con un sistema de carga que reacciona sobre la superficie de hormigón. La fuerza obtenida está relacionada estrechamente con la resistencia última a la compresión del hormigón sin que influyan parámetros como: relación agua cemento, tipo de agregado, estado de la superficie, edad de la estructura y distribución del acero de refuerzo; los cuales afectan directamente a los ensayos de esclerometría y ultrasonido. El dispositivo de acero puede ser fundido dentro del concreto fresco o colocado en un concreto endurecido. Según el Instituto Americano del Concreto (ACI) el ensayo Pull-Out es uno de los métodos más certeros para determinar la resistencia a compresión del concreto que forma parte de la estructura. (ACI 228.1R, 2003; O. Aguirre & Vidaud, 2015)

3.12.2. Normas

- ASTM C900
- ACI 228.1R
- NTG 41017 h26

3.12.3. Usos

El ensayo de resistencia a la extracción por deslizamiento se puede usar en estructuras nuevas o estructuras antiguas. En las estructuras nuevas sirve como método de control de calidad del concreto colocado y en estructuras antiguas sirve para determinar la resistencia a compresión. Este ensayo ofrece beneficios, en estructuras nuevas, a todo el equipo involucrado en la construcción debido a que se ahorran recursos, tiempo y proporciona información sobre los procedimientos de curado de los elementos estructurales; conociendo así el momento en que se puede desencofrar y aplicar nuevas cargas a la estructura. (O. Aguirre & Vidaud, 2015)

3.12.4. Alcance

Este ensayo brinda resultados muy cercanos al hormigón colocado en obra porque considera la compactación, curado, vibrado, relación agua cemento real y madurez del concreto; tanto para estructuras nuevas como para antiguas. (O. Aguirre & Vidaud, 2015). Sin embargo, se deben tomar en cuenta algunos factores para no afectar los resultados; tales como la forma del dispositivo introducido en el concreto, la profundidad de instalación del equipo en el concreto y las dimensiones del anillo de reacción. (ICCG, 2018) Se deben tener presentes las siguientes recomendaciones antes de iniciar el ensayo (ASTM C900, 2006):

- El espaciamiento entre las ubicaciones de los ensayos de extracción debe ser de por lo menos siete veces el diámetro de la cabeza del dispositivo.
- El refuerzo debe quedar fuera del cono de falla esperado (normalmente, 55 mm) por al menos un diámetro de varilla o tamaño máximo de agregado. Es recomendado el uso de un detector de armaduras.
- Entre la ubicación del equipo y los laterales del concreto debe existir un espacio igual o mayor a 3.5 veces el diámetro de la cabeza del dispositivo.



- Cuando se requieren los resultados del ensayo Pull Out para evaluar la resistencia en el lugar (para continuar con la construcción), es necesario realizar por lo menos cinco ensayos de extracción cada 115 m³, o fracción del mismo; o en el caso de losas y muros cada 470 m², o fracción del mismo.

3.12.5. Materiales y Equipo

3.12.5.1. Equipo de “Pull Out” para estructuras en construcción o nuevas

- **Disco o inserto de acero:** Existen diferentes tipos de configuraciones de insertos, estos dependen de la actividad que se requiera realizar.
- **Inserto de desencofrado temprano:** Viene con una placa de acero para unir a una conexión removible a través de un agujero en el encofrado. Se usa antes de que el encofrado sea removido (Gráfico 200a).
- **Insertos de control:** Sirven para clavarlos en la cimbra [\[1\]](#) de madera (Gráfico 200b). Se debe tomar en cuenta que el encofrado debe ser removido para realizar el ensayo con este inserto.
- **Inserto Flotante:** Se utiliza en superficies de concreto fresco recién colocado (Gráfico 200c).
- **Disco y Vástago:** Sirve para reemplazar insertos usados. En el Gráfico 200d se observa un ejemplar ya ensayado.

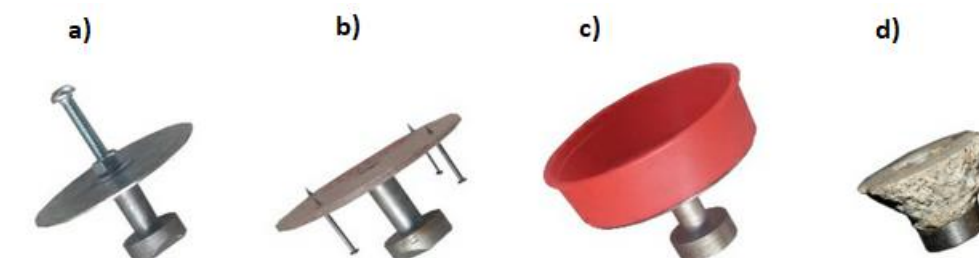


Gráfico 200 Tipos de Insertos, ensayo Pull Out. Fuente: (Germann Instruments inc)

- **Anillo de contrapresión:** Elemento que sirve como unión entre el inserto y el pistón de la máquina de extracción.



Gráfico 201 Anillo de contrapresión, ensayo Pull Out. Fuente: (Germann Instruments inc)

- **Máquina de extracción hidráulica:** Consiste en un pistón hidráulico con medidores de precisión de fuerza de extracción análogos o electrónicos. Existen equipos con diferentes rangos de fuerza, generalmente de 0 a 50kN y de 0 a 100kN.

Vigencia desde:	Código	Página 313 de 473
Marzo-2021	EIP02	



Gráfico 202 Equipo Lok Test L-11, ensayo Pull Out. Fuente: (Germann Instruments inc)

3.12.5.2. Equipo de “Pull Out” para estructuras existentes o antiguas

- Insertos expandibles.



Gráfico 203 Insertos Expandibles Capo C-112, ensayo Pull Out. Fuente: (Germann Instruments inc)

- **Herramientas de expansión de insertos:** Estas herramientas pueden expandir insertos de dos a tres veces su tamaño.

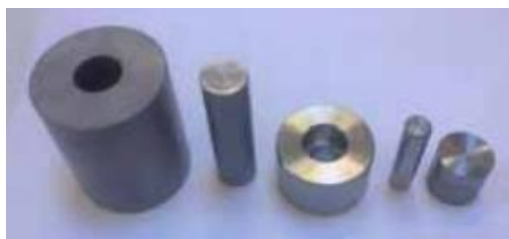


Gráfico 204 Herramientas de expansión C-111, ensayo Pull Out. Fuente: (Germann Instruments inc)

Vigencia desde:	Código	Página 314 de 473
Marzo-2021	EIP02	



UNIVERSIDAD DE CUENCA

- **Equipo de perforación y expansión:** Es un equipo específico para este ensayo que es usado para taladrar orificios en el hormigón y cortar la muesca [\[2\]](#) para acomodar el inserto expandible. Incluye herramienta de desgaste.



Gráfico 205 Equipo de Perforación y expansión C-101, ensayo Pull Out. Fuente: (Germann Instruments inc)

- **Equipo de pulido:** Este equipo sirve para conseguir una superficie plana de apoyo antes de realizar el agujero central y el hueco de expansión. El equipo incluye un cepillo de diamante, una placa de succión, una bomba de vacío y herramientas para perforar la superficie.



Gráfico 206 Equipo de pulido DSV C-102, ensayo Pull Out. Fuente: (Germann Instruments inc)

- **Máquina de extracción hidráulica:** La máquina es la misma utilizada en la sección 3.12.5.1.

Vigencia desde:	Código	Página 315 de 473
Marzo-2021	EIP02	



3.12.6. Procedimiento

3.12.6.1. Procedimiento de “Pull Out” para estructuras en construcción o nuevas (Lok-Test)

- 1) Decidir el uso de dispositivos fundidos en obra o post-instalados. El dispositivo post-instalado (Gráfico 200c) se pueden colocar el cualquier lugar de la estructura siempre que cumpla con las recomendaciones indicadas en la sección 3.12.4. En el caso de utilizar dispositivos fundidos en obra (Gráfico 200a y Gráfico 200b), planear estratégicamente su ubicación antes de fundir el concreto. Los dispositivos deben ser colocados a la misma profundidad. El Gráfico 207 muestra las dimensiones más utilizadas para el ensayo, las cuales cumplen con los requerimientos del ASTM C900.

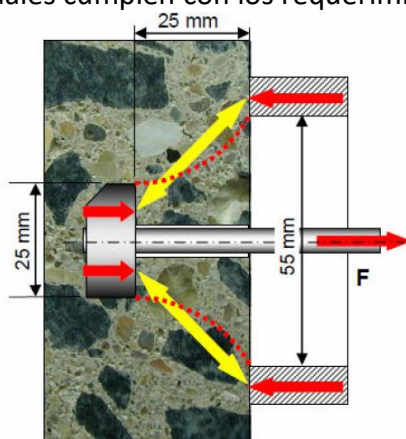


Gráfico 207 Dimensiones recomendadas Lok Test, ensayo Pull Out. Fuente: (Germann Instruments inc)

- 2) Remover residuos de la superficie para asegurar la perpendicularidad entre la superficie y el eje del dispositivo.
- 3) Ensamblar el anillo de contrapresión al inserto.
- 4) Acoplar la máquina de extracción hidráulica al anillo de contrapresión.
- 5) Aplicar la carga a una velocidad constante (Tomar el tiempo que se demora en llegar a la rotura). Cuando el objetivo es obtener la resistencia de falla del concreto, se aplica la carga hasta producir la rotura y se anota el resultado. Si el objetivo es comprobar que el hormigón resiste una carga específica, llegar a la carga establecida y mantener por al menos diez segundos.



Gráfico 208 Aplicación de carga, caso encofrado; ensayo Pull Out. Fuente: (Germann Instruments inc)

Vigencia desde:	Código	Página 316 de 473
Marzo-2021	EIP02	



- 6) Comparar el tiempo de ensayo con la Tabla 35 para comprobar que la velocidad de carga haya sido correcta y validar los resultados.

Carga de extracción (kN)	Tiempo mínimo (s)	Tiempo máximo (s)
10	14	33
20	29	67
30	43	100
40	57	133
50	71	167
60	86	200
70	100	233
80	114	267
90	129	300
100	143	333

Tabla 35 Tiempos máximos y mínimos, ensayo Pull Out. Fuente: (ASTM C900, 2006)

3.12.6.1.1. Diagrama de flujo

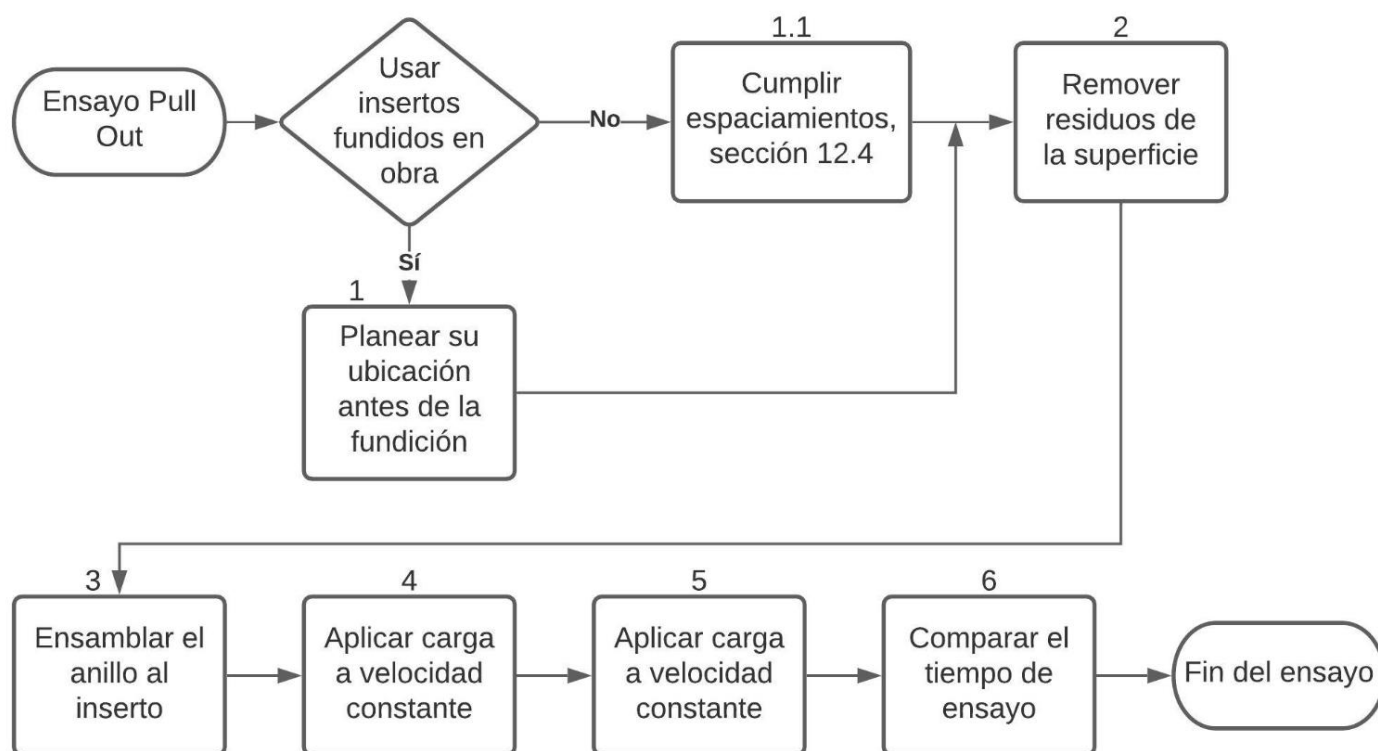


Diagrama de Flujo 14 Procedimiento para estructuras nuevas, ensayo Pull Out. Fuente: (Autores)



3.12.6.2. Procedimiento de “Pull Out” para estructuras en existentes o antiguas (Capo-Test)

- 1) Buscar aceros de refuerzo, para ubicar el lugar de ensayo y cumplir con las recomendaciones de la sección 3.12.4.



Gráfico 209 Ubicación del acero de refuerzo, ensayo Pull Out. Fuente: (Germann Instruments inc)

- 2) Instalar la placa de succión para asegurar una superficie plana, con esto el resto de equipo de perforación, expansión y extracción estarán soportados firmemente. Se utiliza agua durante todo el ensayo para operaciones de perforación, aplanado y corte de la muesca.



Gráfico 210 Instalación de placa de succión, ensayo Pull Out. Fuente: (Germann Instruments inc)

- 3) Perforar un agujero de 18mm de diámetro. Se hace uso del equipo de perforación mostrado en el Gráfico 205. Con ayuda de pinzas retirar el residuo del agujero.



Gráfico 211 Perforación, ensayo Pull Out. Fuente: (Germann Instruments inc)

Vigencia desde:	Código	Página 318 de 473
Marzo-2021	EIP02	



UNIVERSIDAD DE CUENCA



Gráfico 212 Retirar residuos, ensayo Pull Out. Fuente: (Germann Instruments inc)

- 4) Aplanar la superficie con el cepillo de diamante mostrado en el Gráfico 205.



Gráfico 213 Cepillo de diamante, ensayo Pull Out. Fuente: (Germann Instruments inc)

- 5) Realizar la muesca con la herramienta de desgaste. La muesca cortada internamente tendrá un diámetro y una profundidad de 25mm. El corte interno se indica en el Gráfico 215.



Gráfico 214 Corte interno, ensayo Pull Out. Fuente: (Germann Instruments inc)

Vigencia desde:

Marzo-2021

Código

EIP02

Página **319** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

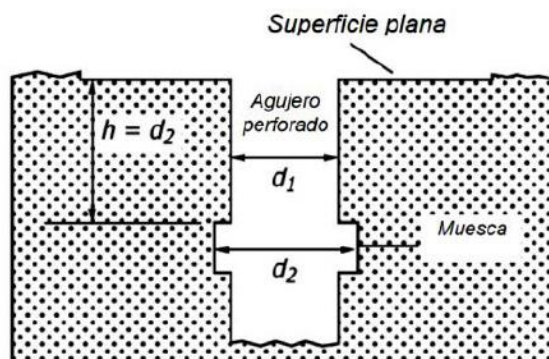


Gráfico 215 Vista en corte de muesca, ensayo Pull Out. Fuente: (NTG 41017 h26, 2015)

Las medidas recomendadas por el ASTM, tomando como referencia el Gráfico 215, son: $d_1=18\text{mm}$ y $d_2=25\text{mm}$.

- 6) Utilizando las herramientas de expansión, ubicar los insertos en la muesca y expandir el dispositivo al tamaño requerido. El Gráfico 217 muestra el corte interno.



Gráfico 216 Herramientas de expansión, ensayo Pull Out. Fuente: (Germann Instruments inc)

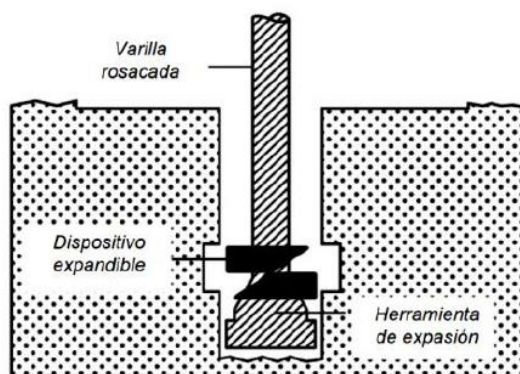


Gráfico 217 Vista en corte de la expansión, ensayo Pull Out. Fuente: (NTG 41017 h26, 2015)

- 7) Ensamblar el anillo de contrapresión al inserto.

Vigencia desde:	Código	Página 320 de 473
Marzo-2021	EIP02	



UNIVERSIDAD DE CUENCA

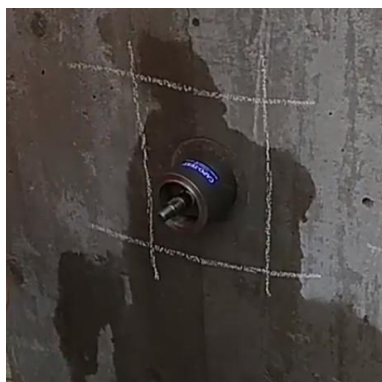


Gráfico 218 Ensamblaje anillo-inserto, ensayo Pull Out. Fuente: (Germann Instruments inc)

El Gráfico 219 muestra las dimensiones recomendadas en el equipo instalado.

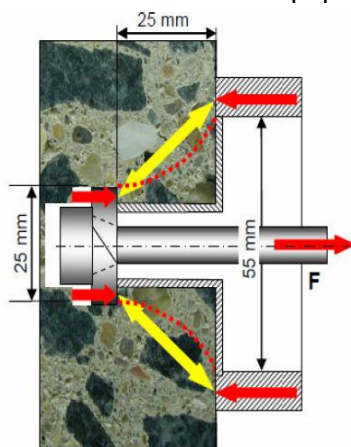


Gráfico 219 Dimensiones recomendadas Capo Test, ensayo Pull Out. Fuente: (Germann Instruments inc)

8) Aplicar la carga a una velocidad constante (Tomar el tiempo que se demora en llegar a la rotura).



Gráfico 220 Aplicación de carga, ensayo Pull Out. Fuente: (Germann Instruments inc)

9) Comparar el tiempo de ensayo con la Tabla 35 para comprobar que la velocidad de carga haya sido correcta y validar los resultados.

Vigencia desde:	Código	Página 321 de 473
Marzo-2021	EIP02	



3.12.6.2.1. Diagrama de flujo

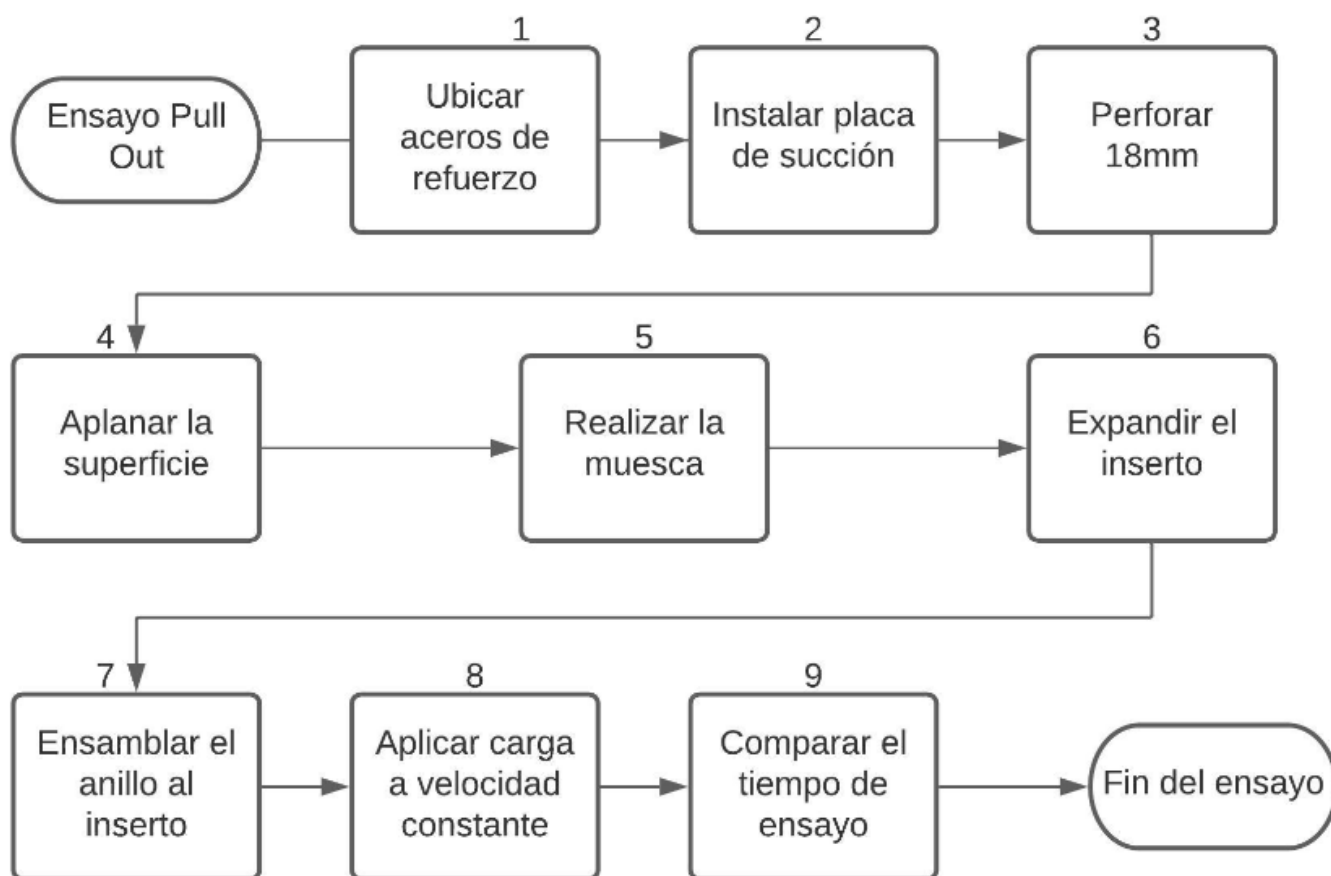


Diagrama de Flujo 15 Procedimiento para estructuras antiguas, ensayo Pull Out. Fuente: (Autores)

3.12.7. Análisis de información

3.12.7.1. Interpretación de datos

3.12.7.1.1. Rechazo de datos

Los datos se rechazan en las siguientes condiciones (ASTM C900, 2006):

- Cuando el diámetro grande del cono truncado no es un círculo completo con diámetro igual al anillo de contrapresión.
- Cuando la distancia desde la superficie hasta la cabeza del dispositivo no es igual al diámetro del dispositivo (25 mm).
- Cuando se puede apreciar una varilla de refuerzo dentro de la zona de falla.

3.12.7.1.2. Resistencia estimada

“El esfuerzo de extracción medido por el Capo-Test es esencialmente el mismo que el esfuerzo de extracción medido por el Lok-Test”. (Germann Instruments inc)

Vigencia desde:	Código	Página 322 de 473
Marzo-2021	EIP02	



Por lo tanto, las correlaciones de los dos ensayos son las mismas. La principal correlación se da entre la fuerza obtenida en el ensayo Pull Out y la resistencia a compresión en MPa

El Gráfico 221a y Gráfico 221b, muestran las tablas de correlación para varios ensayos del equipo de Germann Instruments para cubos y para cilindros de hormigón de densidad normal respectivamente.

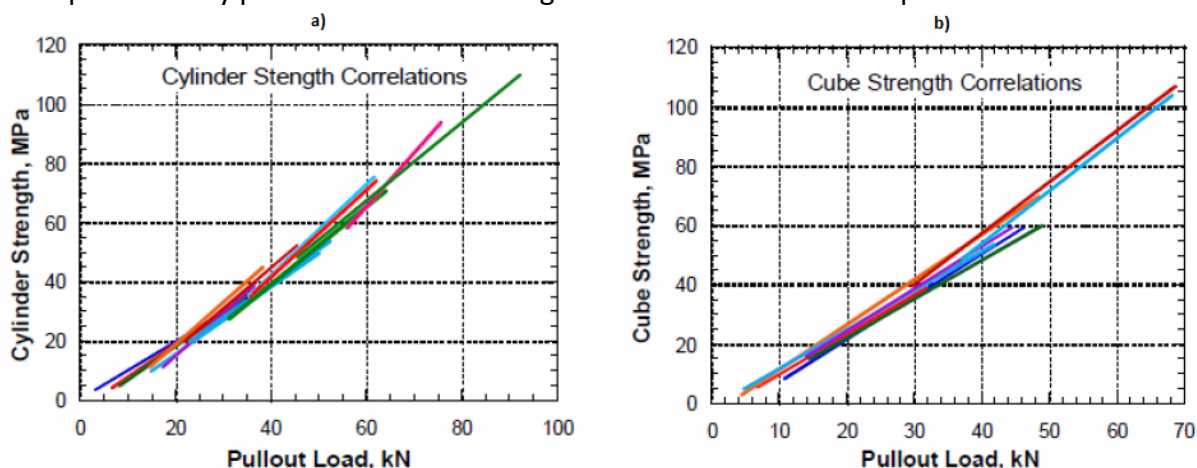


Gráfico 221 Correlaciones para cubos y cilindros, ensayo Pull Out. Fuente: (Germann Instruments inc)

De los gráficos anteriores se obtienen las siguientes curvas y ecuaciones para correlaciones de cubos y cilindros de densidad normal (2400 Kg/m³).

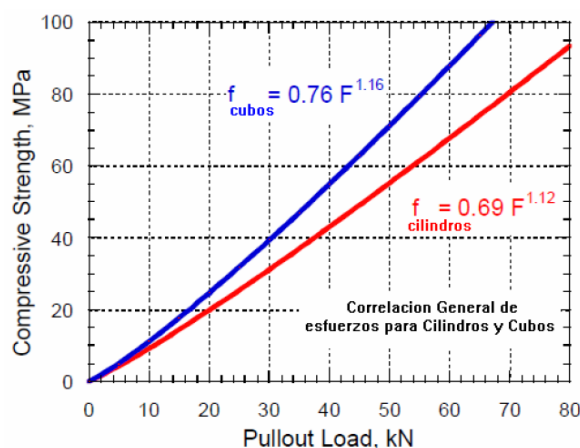


Gráfico 222 Correlaciones para cubos y cilindros de densidad normal, ensayo Pull Out. Fuente: (Germann Instruments inc)

En caso de que las especificaciones del proyecto lo requieran, se deben realizar correlaciones específicas para mezclas de concreto. Para desarrollar estas correlaciones se utiliza el ACI 228.1R.

3.12.8. Glosario

- [1] Cimbra: Es una estructura auxiliar que sirva para sostener provisionalmente el peso de un elemento de la estructura durante la construcción. Generalmente se encuentra en contacto con el concreto.
- [2] Muesca: Es un hueco que se realiza para introducir o encajar una pieza. Tómese como referencia el Gráfico 215.

Vigencia desde:	Código	Página 323 de 473
Marzo-2021	EIP02	



3.12.9. Bibliografía

- ACI 228.1R. (2003). In-Place Methods to Estimate Concrete Strength Reported. ACI Committee Reports, 228, 1R, 44.
- Aguirre, O., & Vidaud, E. (2015). PULL-OUT: Método de estimación de la resistencia a compresión en estructuras de concreto. Construcción Y Tecnología En Concreto, 33–38. Recuperado de: <http://www.imcyc.com/revistacyt/pdf/agosto2015/tecnologia.pdf>
- ASTM C900. (2006). Standard test method for pullout strength of hardened concrete. American Society for Testing and Materials, 1–10.
- Germann Instruments inc. (n.d.). Pull Out. Lok, Capo, y Bond Test. Recuperado de: https://doi.org/10.1007/978-3-642-41714-6_164335
- ICCG. (2018). Boletín Técnico ICCG Ensayos no destructivos para evaluación de la resistencia del concreto endurecido. Boletín Técnico 06, 5.
- NTG 41017 h26. (2015). Método de ensayo. Resistencia a la extracción por deslizamiento (Pull-out) del concreto endurecido. Correspondencia. Norma Técnica Guatemalteca, 502.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

3.13. ENSAYO DE MADUREZ PARA LA ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA DE CONCRETO EN OBRA EIP03

Vigencia desde:	Código	Página 325 de 473
Marzo-2021	EIP03	



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Contenido

3.13.	ENSAYO DE MADUREZ PARA LA ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA DE CONCRETO EN OBRA	325
3.13.1.	Objetivo.....	327
3.13.2.	Normas.....	327
3.13.3.	Usos.....	327
3.13.4.	Alcance.....	327
3.13.5.	Materiales y Equipo.....	328
3.13.5.1.	Sensor de resistencia y temperatura.....	328
3.13.5.2.	Software.....	329
3.13.6.	Procedimiento.....	329
3.13.6.1.	Procedimiento en laboratorio para obtener la relación resistencia-madurez.....	329
3.13.6.1.1.	Diagrama de flujo para procedimiento en laboratorio.....	331
3.13.6.2.	Procedimiento para estimar la resistencia del hormigón en obra.....	331
3.13.6.2.1.	Diagrama de flujo para procedimiento en obra.....	332
3.13.7.	Análisis de información.....	332
3.13.7.1.	Madurez.....	332
3.13.7.2.	Aplicación Giatec SmartRock.....	333
3.13.8.	Glosario.....	334
3.13.9.	Bibliografía.....	335

Vigencia desde:

Marzo-2021

Código

EIP03

Página **326** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

3.13.1. Objetivo

Es un método no destructivo que se utiliza principalmente para estimar la resistencia del concreto en obra durante el proceso constructivo; basándose en el historial de temperaturas en un punto de la estructura y en la relación resistencia-madurez, esta relación debe ser calculada con anterioridad en el laboratorio o puede ser solicitada al proveedor del hormigón. (ASTM C1074, 2004; Giatec, 2016b; NTG 41042, 2014)

Con este ensayo se puede lograr una reducción de costos en la gestión de calidad del hormigón; se reducen las tareas de laboratorio (fabricación de probetas, ensayos de compresión, entre otros). Las probetas usadas en el ensayo de compresión son curadas en condiciones ideales, distintas a las que se tienen en la obra; a diferencia de este ensayo, el método de madurez indica la evolución del desempeño real durante los primeros días. (Bellido de Luna, 2017b, 2017a)

3.13.2. Normas

- ASTM C1074
- NTG 41042
- ACI 228.1R

3.13.3. Usos

Este ensayo se utiliza para estimar la resistencia del hormigón y con esto permitir la remoción de encofrados, apuntalamientos, post-tensionamiento de aceros y habilitación al tránsito. (ASTM C1074, 2004; NTG 41042, 2014)

Los sensores en la actualidad pueden monitorear la temperatura del hormigón fresco y endurecido; proporcionando datos en tiempo real e información relacionada a (Giatec, 2016a):

- Fraguado del hormigón.
- Condiciones de curado.
- Procesos de calentamiento y enfriamiento.
- Control de calidad en obra.
- Madurez del hormigón.

En muchas ocasiones, el apuntalamiento y los encofrados se dejan en las losas hasta que los ensayos de compresión a los 28 días indican la resistencia especificada para poder retirarlos; en otras ocasiones la resistencia no es evaluada y, de manera similar, se dejan los apuntalamientos y encofrados por 28 días. Con el ensayo de madurez, no se tiene que esperar que se cumplan los 28 días para saber si se alcanza la resistencia o si se pueden retirar con anterioridad los apuntalamientos y encofrados; esto gracias a los datos que proporciona en tiempo real. (Bellido de Luna, 2017d)

3.13.4. Alcance

La precisión de la resistencia obtenida con este ensayo depende incondicionalmente de una adecuada determinación de la relación resistencia-madurez [\[1\]](#) (calibración de la muestra). (ASTM C1074, 2004; Giatec, 2016b; NTG 41042, 2014)

Se deben tener en cuenta algunas consideraciones (ASTM C1074, 2004; NTG 41042, 2014):

- El concreto debe permitir la hidratación del cemento.

Vigencia desde:	Código	Página 327 de 473
Marzo-2021	EIP03	



- No se considera los efectos de la temperatura en edades tempranas para la resistencia última a largo plazo del concreto.
- La relación resistencia-madurez se puede obtener en laboratorio con la mezcla de concreto que se va a usar.
- Previo a la ejecución de actividades críticas como desencofrar o post-tensionar se deben realizar otros ensayos complementarios, como: pull out, resistencia a la penetración y extracción de núcleos, para asegurar que el concreto de la estructura tenga una resistencia similar al concreto usado para calcular la relación resistencia-madurez.
- La historia de temperaturas es registrada desde la colocación del hormigón hasta el tiempo para el cual se quiere estimar la resistencia.

Este método se basa en la suposición fundamental de que un determinado diseño de mezcla de hormigón tiene la misma resistencia a la compresión cuando tiene el mismo índice de madurez. “Por ejemplo, puede alcanzar la misma resistencia a la compresión después de 7 días de curado a 10°C que cuando se cura a 25°C durante 3 días”. (Bellido de Luna, 2017c)

3.13.5. Materiales y Equipo

El equipo empleado para este ensayo debe disponer de un dispositivo para monitorear y registrar temperaturas como función del tiempo, un dispositivo para visualizar y analizar los datos obtenidos; y un dispositivo para medir la madurez (ASTM C1074, 2004; NTG 41042, 2014). Se debe considerar que el equipo de laboratorio para la obtención de la relación resistencia-madurez no está considerado en este apartado (Moldes para cilindros, Prensa de compresión, Madurímetro, Termopares [\[2\]](#), entre otros).

3.13.5.1. Sensor de resistencia y temperatura

Los sensores actuales fusionan el dispositivo para monitorear y registrar temperaturas con el dispositivo para medir la madurez en uno solo. La empresa Giatec (2016) posee sensores inalámbricos, por ejemplo Giatec SmartRock, que permiten controlar la temperatura del hormigón fresco durante el fraguado; graban mediciones continuas que pueden ser descargadas en cualquier momento. Estos dispositivos cuentan con tecnología bluetooth y son resistentes al agua. Tienen cables que ayudan a sostener el dispositivo a las barras de refuerzo, una batería que puede durar hasta cuatro meses en temperatura ambiente y un cable para la medición de temperatura, el cual se puede introducir hasta 45 cm desde la superficie del hormigón.



Gráfico 223 Equipo para ensayo de madurez, Giatec SmartRock. Fuente: (Giatec, 2016)

Vigencia desde:	Código	Página 328 de 473
Marzo-2021	EIP03	



3.13.5.2. Software

El sensor descrito anteriormente envía los datos a una aplicación para teléfonos inteligentes, disponible tanto para iOS como para Android, la cual recibe datos de temperatura en tiempo real. También permite el cálculo del índice de madurez [\[3\]](#) y resistencia del hormigón realizando una configuración previa como indica el fabricante. (Giatec, 2016a)



Gráfico 224 Software para ensayo de madurez. Fuente: (Giatec, 2016)

3.13.6. Procedimiento

3.13.6.1. Procedimiento en laboratorio para obtener la relación resistencia-madurez

Este procedimiento se realiza en caso de que el distribuidor del hormigón no disponga de los datos de madurez o en caso de que las especificaciones de obra así lo requieran.

La norma ASTM C1074 indica el procedimiento a seguir en laboratorio:

- 1) Preparar por lo menos 15 cilindros con hormigón usado en la obra.
- 2) Introducir sensores de temperatura al menos ± 15 mm del centro del cilindro, colocar los sensores en todos los cilindros (ASTM C1074, 2004). En caso de usar sensores SmartRock instalar los sensores en dos cilindros (para control de temperatura y madurez) y los cilindros restantes únicamente para control de resistencia. (Bellido de Luna, 2017c)
- 3) Conectar los sensores a los instrumentos de medición de madurez o instrumentos de registro de temperatura, como termopares. La temperatura será registrada cada media hora o menos durante las primeras 48 h y 1 h o menos en el tiempo posterior.
- 4) Realizar ensayos de compresión a los 1,3,7,14,28 días. Se ensayan dos cilindros en cada edad; si la diferencia de resistencia entre los dos cilindros excede el 10% de su resistencia promedio, ensayar un tercer espécimen.
- 5) Registrar el índice de madurez promedio (calculado con la sección 3.13.7.1 u obtenido mediante el dispositivo) para cada ensayo y su resistencia correspondiente. Se obtendrá una tabla como se muestra a continuación.

Vigencia desde:	Código	Página 329 de 473
Marzo-2021	EIP03	



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Tiempo	Madurez (°C - h) (Calculada u obtenida por la aplicación)	Resistencia MPa (Del ensayo de compresión de los cilindros)
Día 1	500	3
Día 3	1100	7,5
Día 7	3000	21,8
Día 14	9000	36
Día 28	12000	43,5

Tabla 36 Ejemplo de datos de madurez y resistencia, ensayo de madurez. Fuente: (Bellido de Luna, 2017c)

- 6) Graficar la Resistencia a la compresión promedio vs Índice de madurez.
- 7) Expresar la resistencia como una función lineal del logaritmo de la madurez.

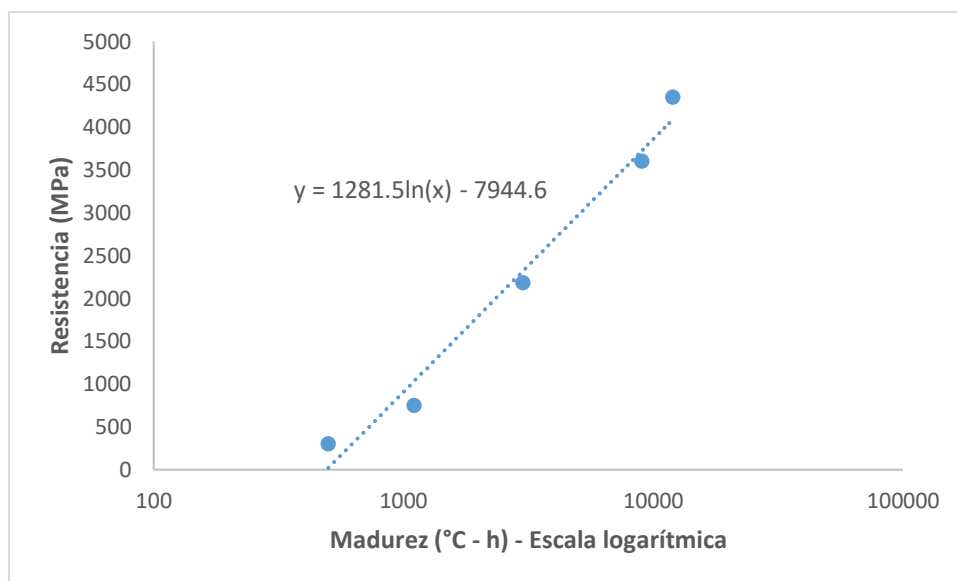


Gráfico 225 Resistencia vs Madurez-Escala logarítmica, ensayo de madurez. Fuente: (Autores)

La ecuación también se puede obtener graficando Resistencia vs Madurez y obteniendo la línea de tendencia logarítmica de los puntos graficados, como se muestra a continuación.

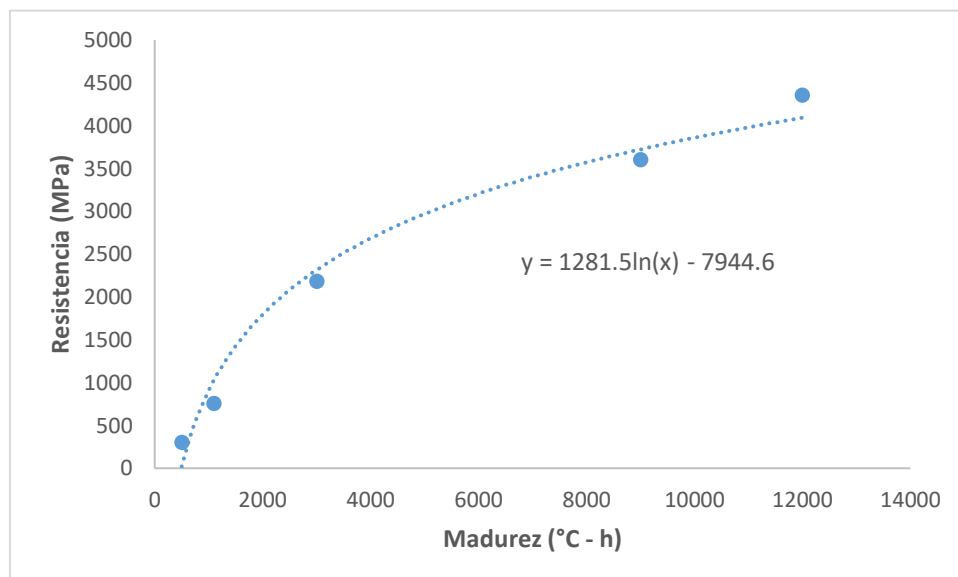


Gráfico 226 Resistencia a la compresión promedio vs Índice de madurez, ensayo de madurez. Fuente: (Autores)

3.13.6.1.1. Diagrama de flujo para procedimiento en laboratorio

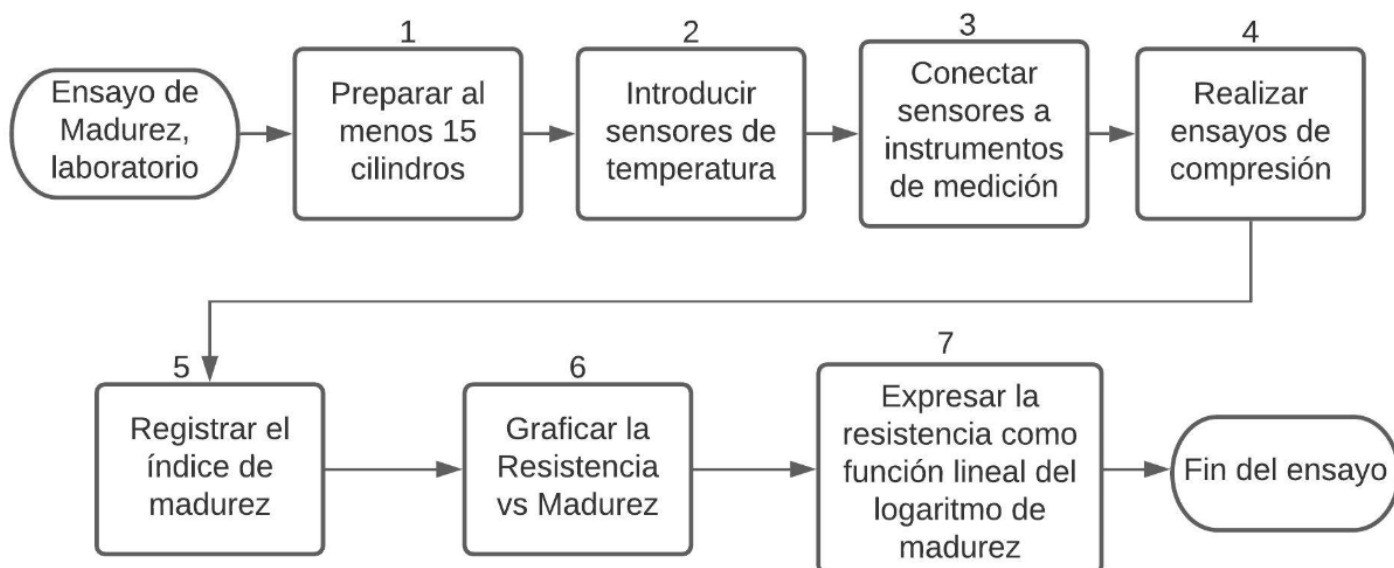


Diagrama de Flujo 16 Procedimiento para laboratorio, ensayo de madurez. Fuente: (Autores)

3.13.6.2. Procedimiento para estimar la resistencia del hormigón en obra

- 1) Instalar los sensores dentro de la sección a estudiar. Los sensores serán colocados antes del vertido de hormigón o en concreto fresco. Se debe evitar exposición al aire y deben estar cubiertos por completo de concreto (ASTM C1074, 2004). En caso de utilizar sensores SmartRock, realizar una configuración previa como se indica en el manual del fabricante; no colocar el transmisor inalámbrico a más de 5 cm de la cubierta del hormigón, a esta profundidad el sensor envía información sin inconvenientes a la

Vigencia desde:	Código	Página 331 de 473
Marzo-2021	EIP03	



aplicación a una distancia máxima de 8 m. El cable de extensión del sensor de temperatura se coloca en cualquier lugar dentro del elemento. (Giatec, 2016a)

- 2) Conectar los sensores, de ser necesario, a los dispositivos de medición de madurez o de temperatura y comenzar el registro de datos lo más pronto posible.
- 3) Obtener el índice de madurez (con ayuda del sensor o mediante la sección 3.13.7.1).
- 4) Leer el valor de la resistencia a la compresión, obtenido en el gráfico resultante de la sección 3.13.6.1 o especificado por el distribuidor de hormigón, correspondiente al índice de madurez obtenido.

3.13.6.2.1. Diagrama de flujo para procedimiento en obra

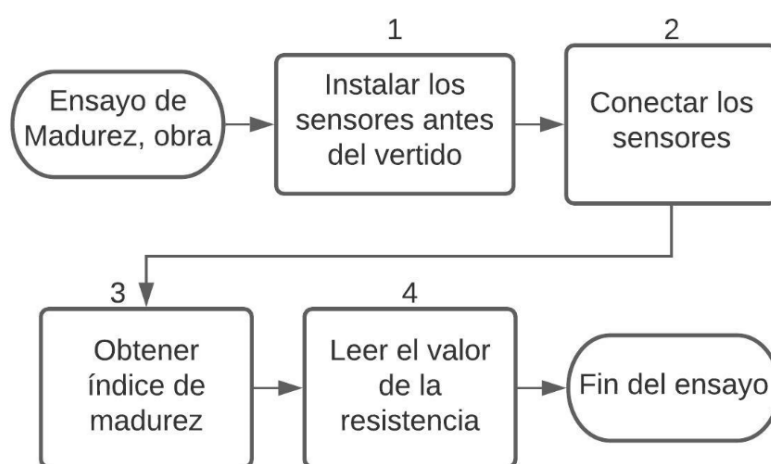


Diagrama de Flujo 17 Procedimiento para obra, ensayo de madurez. Fuente: (Autores)

3.13.7. Análisis de información

3.13.7.1. Madurez

Para el cálculo de la madurez se pueden usar dos ecuaciones (ASTM C1074, 2004):

$$M(t) = \sum (T_a - T_o) \Delta t$$

Ecuación 23 Ecuación de Nurse-Saul, ensayo de madurez. Fuente: (ASTM C1074, 2004)

Donde:

$M(t)$: Madurez (factor temperatura-tiempo) a una edad t . [°C-días o °C-h]

T_a : Temperatura promedio del concreto durante el intervalo Δt . [°C]

T_o : Temperatura de referencia. [°C]

Para el cemento Tipo I sin aditivos y con un rango de temperatura entre 0 y 40°C la temperatura de referencia que se recomienda es de 0°C. Cuando se desee mayor precisión o cuando existen otras condiciones se puede calcular este valor mediante el procedimiento estándar de la normativa. (ASTM C1074, 2004)

Para regiones con bajas temperaturas se recomienda una temperatura de referencia de -10°C. (Bellido de Luna, 2017c)

Δt : Intervalo de tiempo. [días u horas]

Vigencia desde:	Código	Página 332 de 473
Marzo-2021	EIP03	



$$te = \sum e^{-Q\left(\frac{1}{Ta} - \frac{1}{Ts}\right)\Delta t}$$

Ecuación 24 Ecuación de Arrhenius, ensayo de madurez. Fuente: (ASTM C1074, 2004)

Donde:

te : Edad equivalente a la temperatura especificada. [días u horas]

Q : Energía de activación dividida para la constante de gas. [K]

Ta : Temperatura promedio del concreto durante el intervalo de tiempo Δt . [K]

Ts : Temperatura especificada. [K]

Δt : Intervalo de tiempo. [días u horas]

3.13.7.2. Aplicación Giatec SmartRock

La aplicación recibe los datos enviados por el sensor, previamente calibrado, obteniendo los valores de madurez y resistencia en tiempo real. Los resultados mediante la aplicación se mostrarán en pantalla, como se indica a continuación. Las unidades pueden cambiarse de acuerdo a las necesidades del usuario.

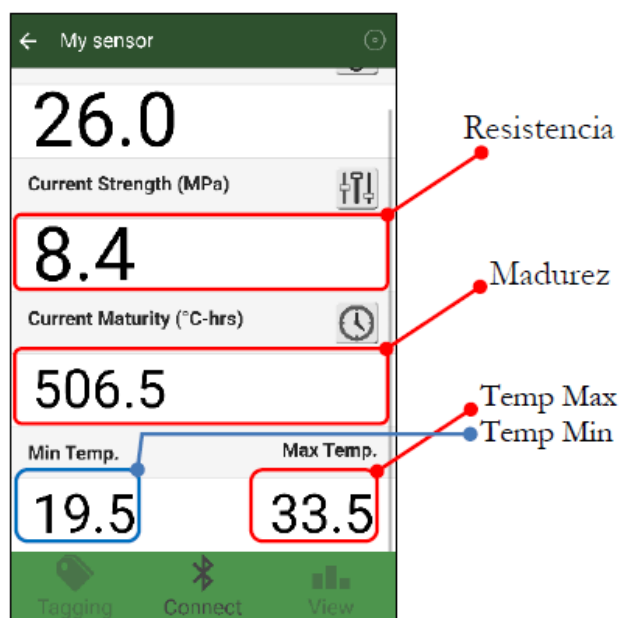


Gráfico 227 Resultados representados en la aplicación Giatec SmartRock, ensayo de madurez. Fuente: (Giatec, 2016b)

La aplicación además permite monitorear los resultados en formato gráfico; muestra las variaciones de temperatura (Gráfico 228.a), madurez (Gráfico 228.b) y resistencia (Gráfico 228.c). Se pueden ver los valores mencionados en cualquier punto del gráfico.

Vigencia desde:	Código	Página 333 de 473
Marzo-2021	EIP03	

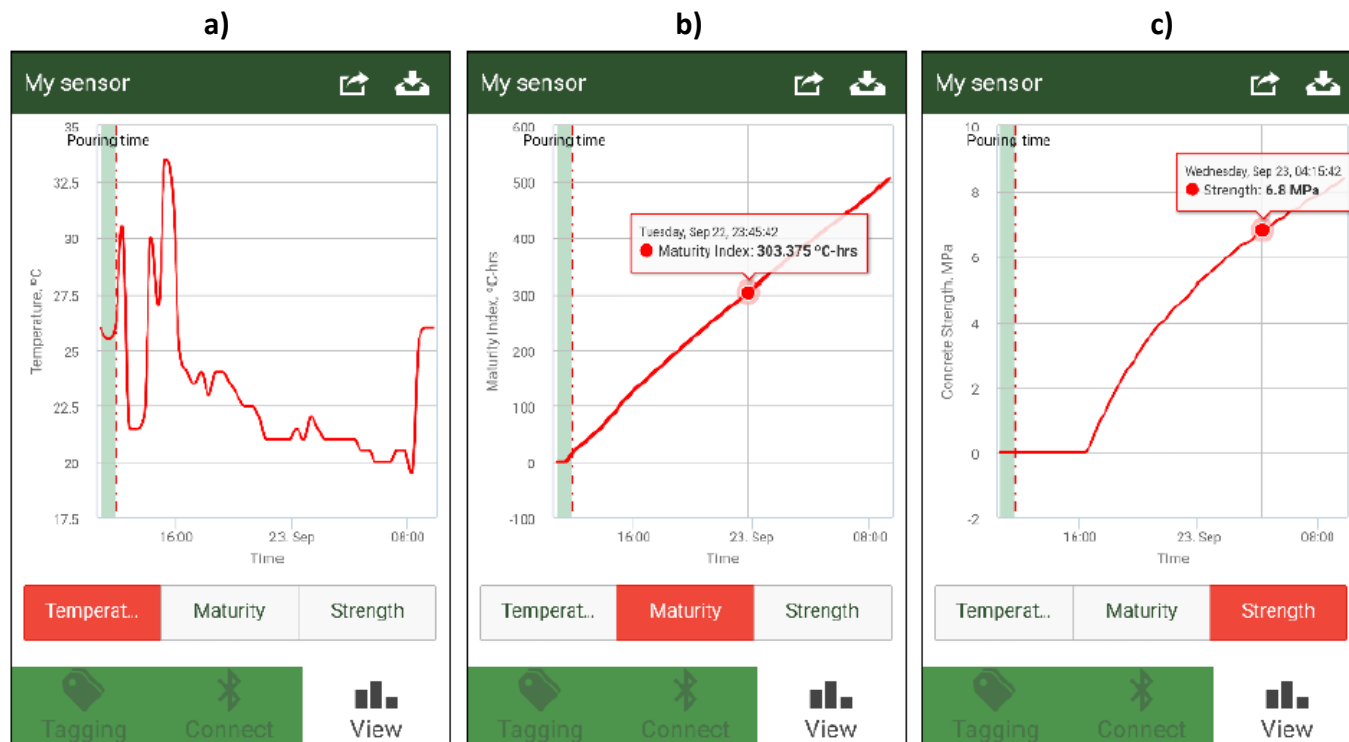


Gráfico 228 Variaciones de temperatura, madurez y resistencia; ensayo de madurez. Fuente: (Giatec, 2016b)

3.13.8. Glosario

- ^[1] Resistencia-madurez: Es una relación empírica entre la resistencia a la compresión y el índice de madurez. (ASTM C1074, 2004)
- ^[2] Termopares: Es un sensor para medir la temperatura, compuesto por dos metales diferentes unidos en un extremo. Cuando la unión de los dos metales se calienta o se enfría, se produce una tensión que es proporcional a la temperatura. (Omega, 2020)
- ^[3] Índice de madurez: Es obtenido de un ensayo de muestras cilíndricas a las cuales se las ha llevado un registro histórico de temperatura. Se puede calcular con la Ecuación 23 o con la Ecuación 24. (ASTM C1074, 2004)



3.13.9. Bibliografía

- ACI 228.1R. (2003). In-Place Methods to Estimate Concrete Strength Reported. ACI Committee Reports, 228, 1R, 44.
- ASTM C1074. (2004). Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method. American Society for Testing and Materials, 1–9.
- Bellido de Luna, R. (2017a). ¿Cuánto cuesta tener un hormigón de calidad en la obra? Giatec, Método de Madurez Del Hormigón. Recuperado de: <https://giatec.bdl.cl/cuanto-cuesta-tener-un-hormigon-de-calidad-en-la-obra/>
- Bellido de Luna, R. (2017b). Cómo ahorrar costos en el control de calidad con sensores inteligentes. Giatec, Método de Madurez Del Hormigón. Recuperado de: <https://giatec.bdl.cl/ahorrar-costos-control-calidad-del-hormigon-sensores-inteligentes/>
- Bellido de Luna, R. (2017c). Guía para elaborar curva de madurez o curva de caracterización de hormigón para método de madurez. Giatec, Método de Madurez Del Hormigón. Recuperado de: <https://giatec.bdl.cl/guia-para-elaborar-curva-madurez-caracterizacion-hormigon/>
- Bellido de Luna, R. (2017d). Uso de SmartRock para reducir costos de apuntalamiento o alzaprimado y acelerar la obra gruesa. Giatec, Método de Madurez Del Hormigón. Recuperado de: <https://giatec.bdl.cl/uso-de-smartrock-para-reducir-costos-de-apuntalamiento-o-alzaprimado-y-acelerar-la-obra-gruesa/>
- Giatec. (2016a). Giatec smartrock TM. SENSOR DE RESISTENCIA Y TEMPERATURA INALAMBRICO RESUMEN. Recuperado de: <https://giatec.bdl.cl/wp-content/uploads/2015/11/Giatec-SmartRock-DS-v15-10-CL.pdf>
- Giatec. (2016b). SmartRock TM Control de calidad inalámbrico para el hormigón. Tecnología Inteligente Para Ensayos de Hormigón. Recuperado de: <https://giatec.bdl.cl/wp-content/uploads/2016/01/UserGuide-SmartRock.pdf>
- NTG 41042. (2014). Práctica para la estimación de la resistencia del concreto por el método de la madurez. Norma Técnica Guatemalteca, 502. Recuperado de: <https://conred.gob.gt/normas/NRD3/2 concreto/norma ntg 41042 astm c 1074- 11.pdf>
- Omega. (2020). Termopar. ¿Qué Es Un Sensor Termopar? Recuperado de: <https://es.omega.com/prodinfo/termopares.html>

Vigencia desde:	Código	Página 335 de 473
Marzo-2021	EIP03	

CAPÍTULO IV: ÁRBOLES DE SOLUCIONES



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Contenido

CAPÍTULO IV: ÁRBOLES DE SOLUCIONES	336
Introducción	338
Árbol de soluciones basado en patologías.....	338
Árbol de soluciones basado en daños observados	339
4.1. ÁRBOLES DE SOLUCIONES BASADOS EN PATOLOGÍAS.....	340
4.2. ÁRBOLES DE SOLUCIONES BASADOS EN DAÑOS VISIBLES	354

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **337** de **473**



Introducción

Teniendo en consideración los principales mecanismos de deterioro y patologías que se indican en el CAPÍTULO II: PATOLOGÍAS DE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN, se deben definir los ensayos que se van a realizar para evaluar la condición de la infraestructura e identificar las causas directas o indirectas que causaron las patologías.

Una vez escogidos los ensayos, estos serán útiles para conseguir información cuantitativa y conocer el estado actual de los materiales constituyentes del hormigón; obteniendo una valoración más detallada y técnica sobre el estado de la estructura. Es importante tener en cuenta que no es necesario realizar todos los ensayos recomendados mediante los árboles; se debe realizar los ensayos que encuentren la mayor cantidad de parámetros requeridos para una correcta evaluación. Para una mejor guía se puede consultar la Tabla 20.

A continuación, se muestra dos árboles de soluciones propuestos que, a partir de la inspección visual, las patologías y los daños observados definen ensayos principales y ensayos complementarios que se pueden realizar para una correcta evaluación de la patología.

Árbol de soluciones basado en patologías

El primer árbol de soluciones se utiliza cuando, una vez realizada la inspección visual, se conoce la patología que causa el daño en la estructura. El árbol tiene el orden indicado en el Gráfico 229, donde:

Patología general: En este punto se indican los grupos de patologías ubicados en el CAPÍTULO II: PATOLOGÍAS DE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN. Estos grupos son:

- Patologías por intervención humana.
- Patologías por efectos térmicos.
- Patologías por efectos de humedad.
- Procesos de desintegración.
- Corrosión del acero de refuerzo.
- Patologías por efectos de cargas.
- Patologías por acción sísmica.
- Otras patologías.

Patología específica: Hace referencia a los subgrupos de cada patología general, indicada anteriormente.

Ensayos principales: Indica los ensayos que, de acuerdo al tipo de patología, obtienen información relevante que permite comprobar los motivos que causaron dicha patología. Los ensayos se indican en el CAPÍTULO III: ENSAYOS.

Ensayos complementarios: Son ensayos que pueden brindar información adicional que ayude a esclarecer la condición actual de la estructura.

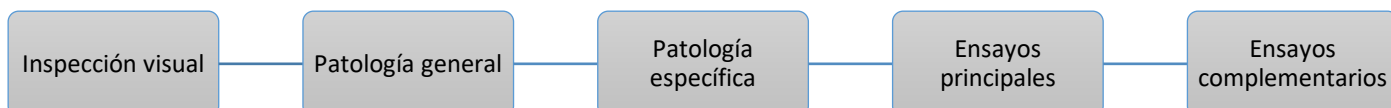


Gráfico 229 Estructura del árbol de solución basado en las patologías. Fuente: (Autores)



Árbol de soluciones basado en daños observados

El segundo árbol se basa en los daños observados durante una detallada inspección visual, se puede tener una idea bastante acertada sobre los ensayos que se pueden realizar para una correcta evaluación de la condición de la infraestructura siguiendo el orden indicado en el Gráfico 230.

Daños observados: Se muestran en la sección 3.1 y en la PLANTILLA: INSPECCIÓN VISUAL (END01, sección 6.4), estos daños son:

- Agrietamientos en elementos estructurales
- Fisuras en mampostería
- Deformaciones y desviaciones visibles
- Asentamientos diferenciales en la cimentación
- Nivel freático
- Patologías por efecto humano
- Patologías de materiales
- Humedad relativa
- Temperatura
- Tipo de agua presente
- Sustancias agresivas y concentración
- Corrosión del acero de refuerzo
- Problemas ocultos
- Fuego
- Viento
- Sismos
- Vibraciones no naturales
- Inundaciones
- Expansión del suelo
- Empuje del suelo
- Modificaciones de elementos estructurales
- Modificaciones de uso de la estructura
- Incumplimiento de especificaciones técnicas
- Actualización de normas

Ensayos principales: Indica los ensayos que, de acuerdo al tipo de patología, obtienen información relevante que permite comprobar los motivos que causaron dicha patología.

Ensayos complementarios: Son ensayos que pueden brindar información adicional que ayude a esclarecer la condición actual de la estructura.

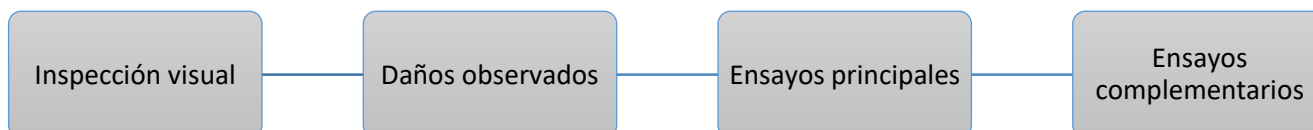


Gráfico 230 Estructura del árbol de solución basado en los daños observados. Fuente: (Autores)



UNIVERSIDAD DE CUENCA

4.1. ÁRBOLES DE SOLUCIONES BASADOS EN PATOLOGÍAS

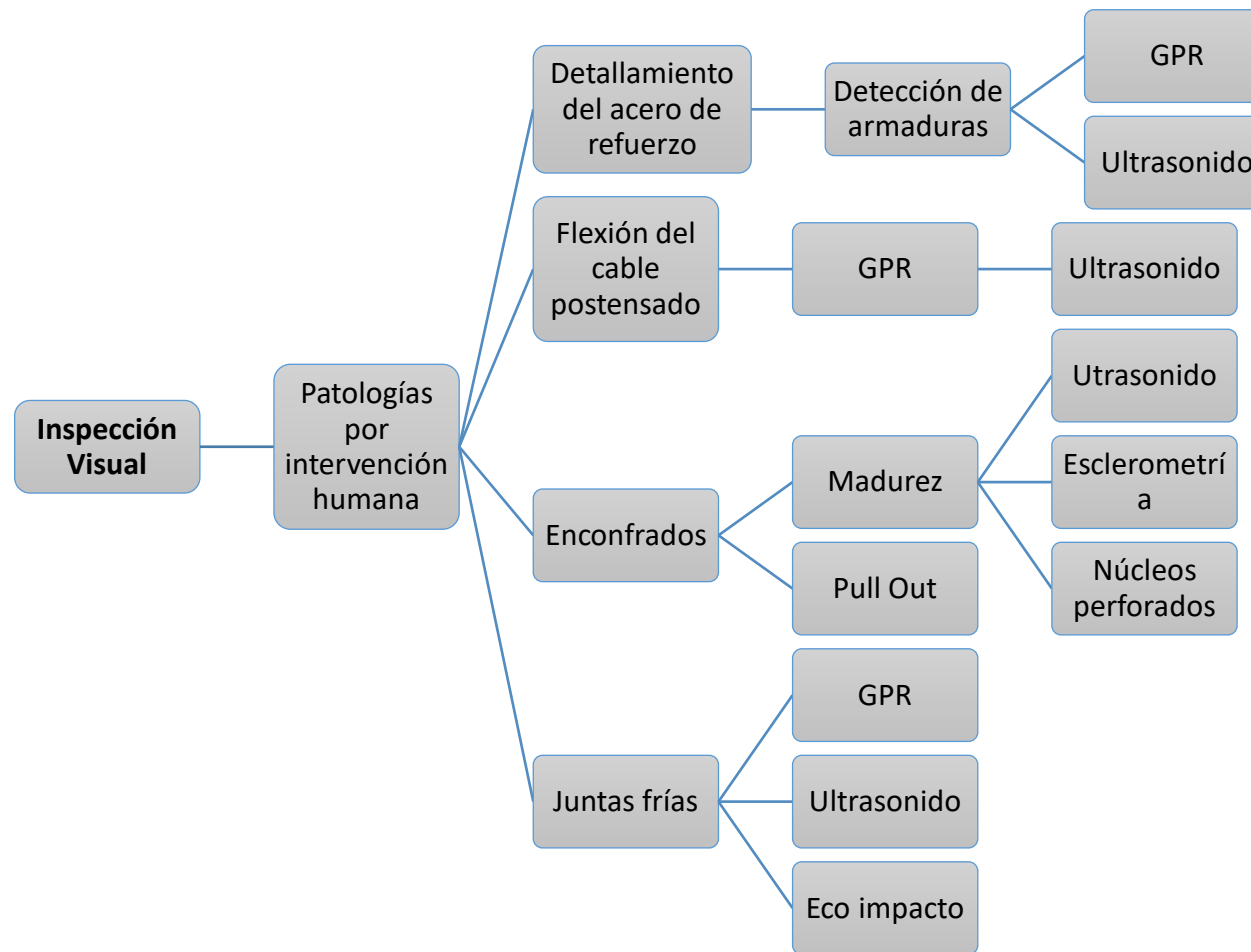
Vigencia desde:

Marzo-2021

Página 340 de 473

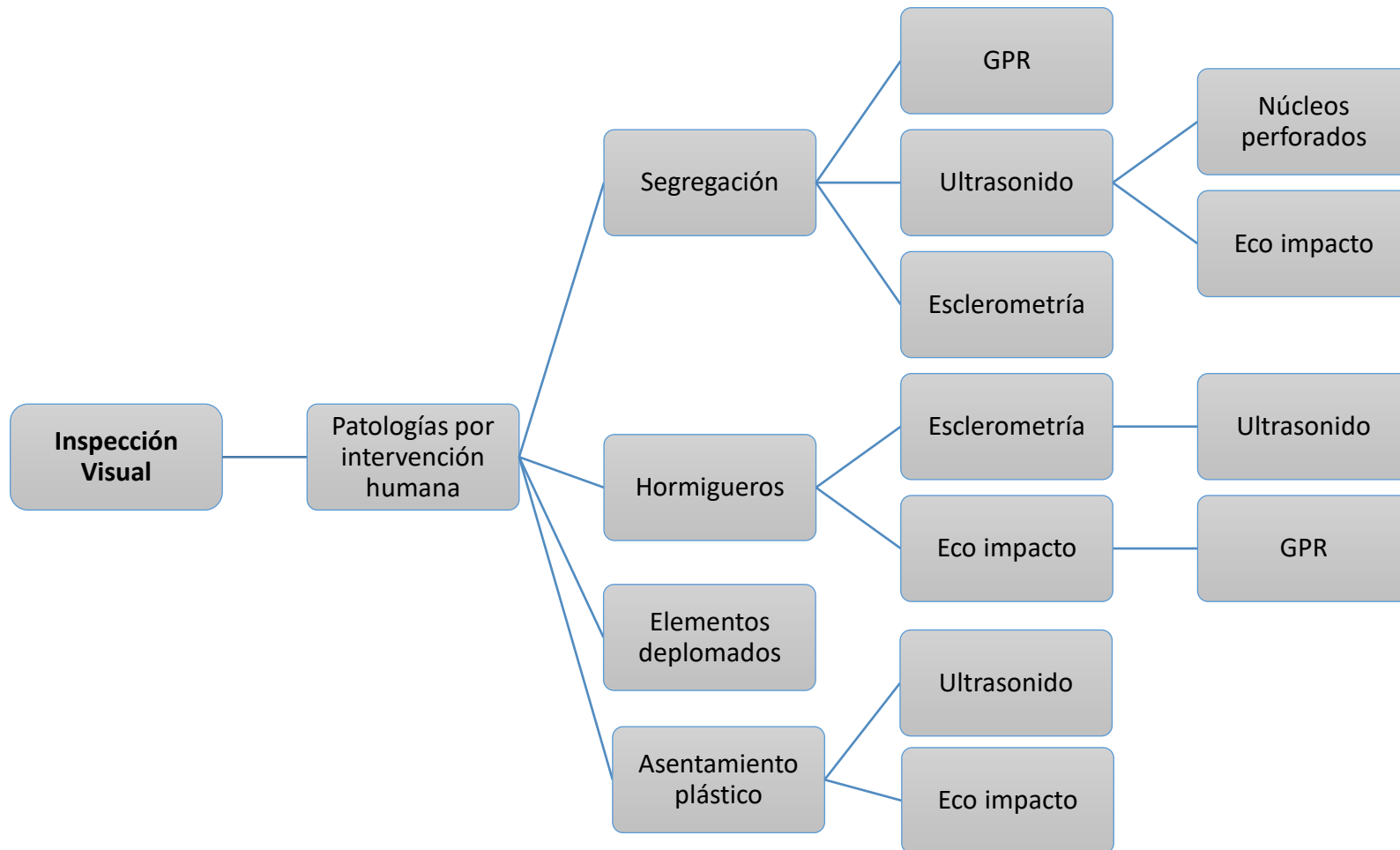


UNIVERSIDAD DE CUENCA



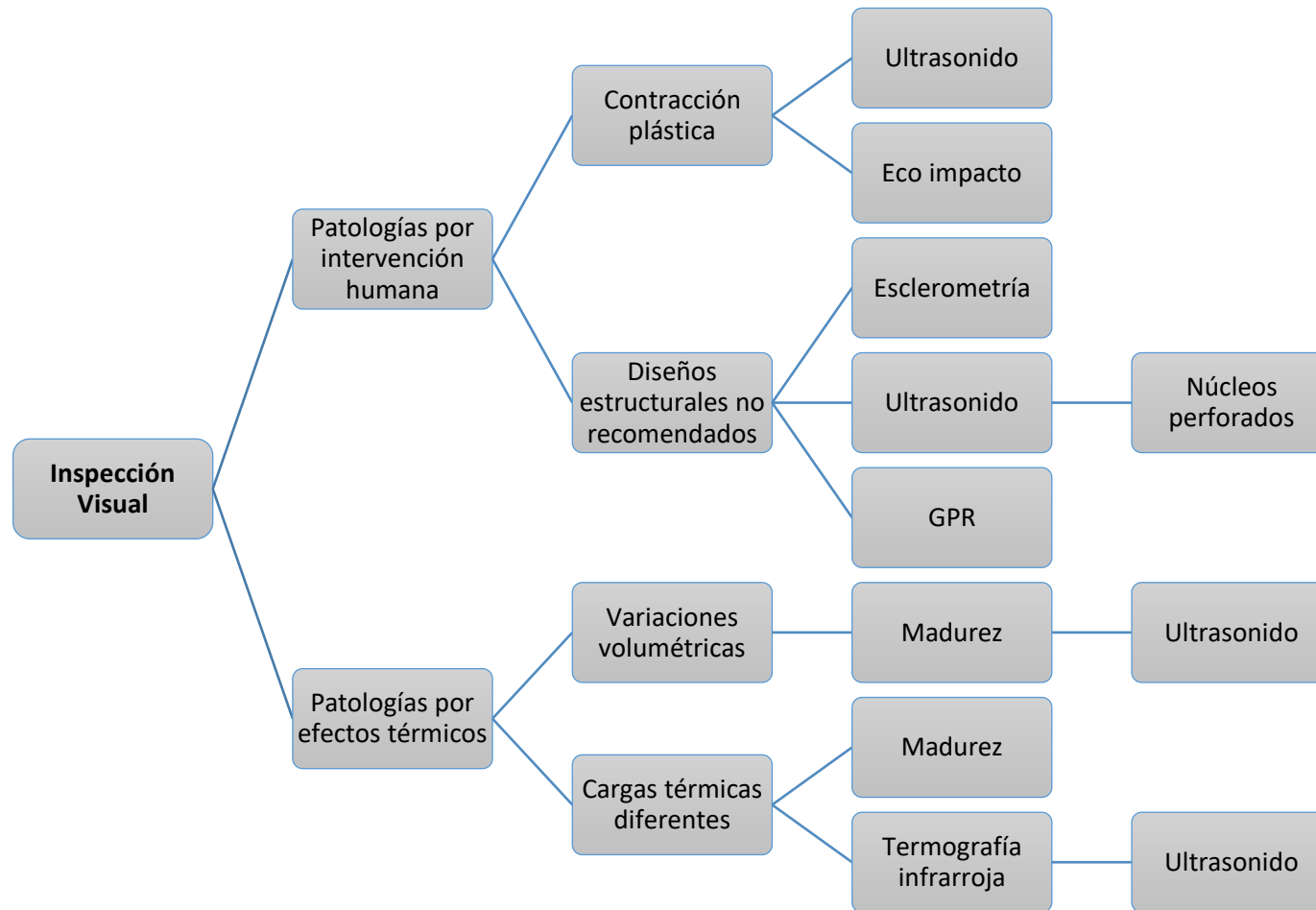


UNIVERSIDAD DE CUENCA



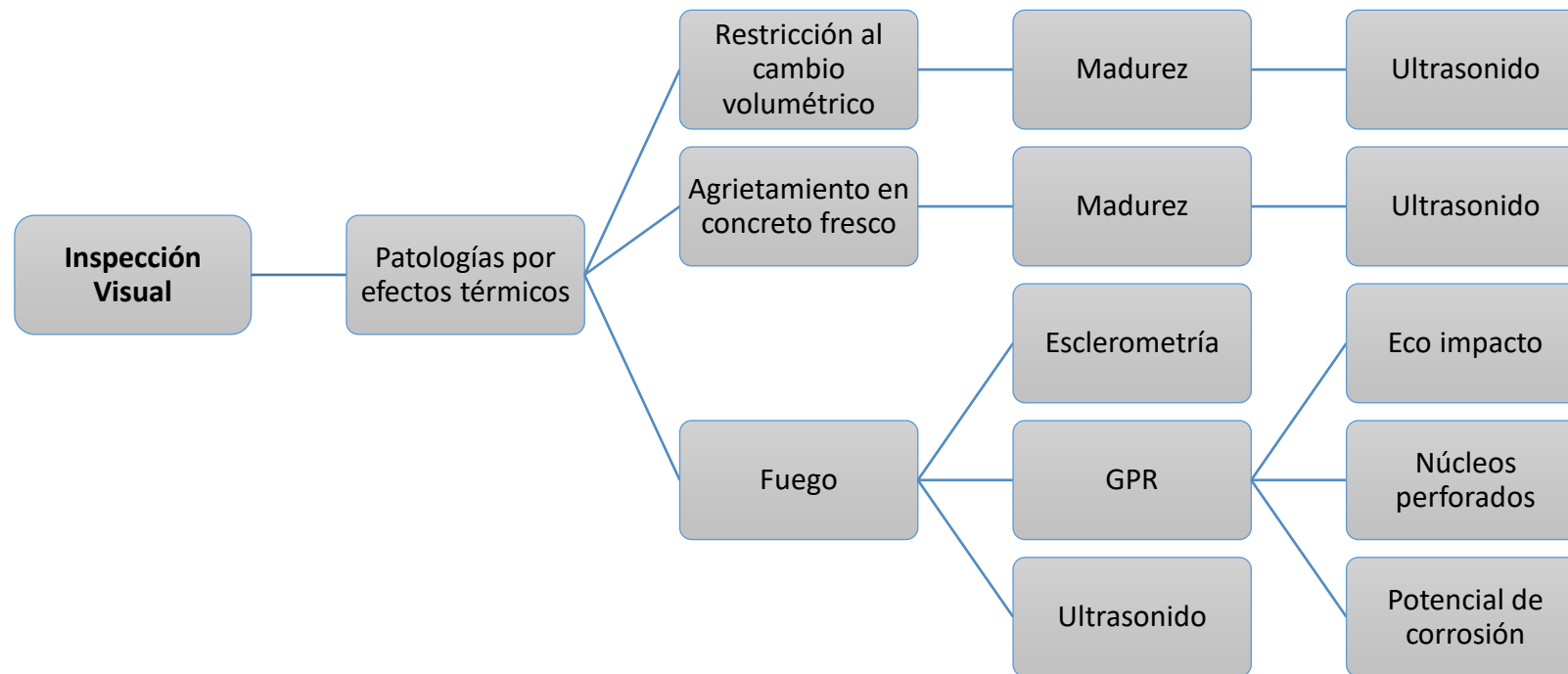


UNIVERSIDAD DE CUENCA



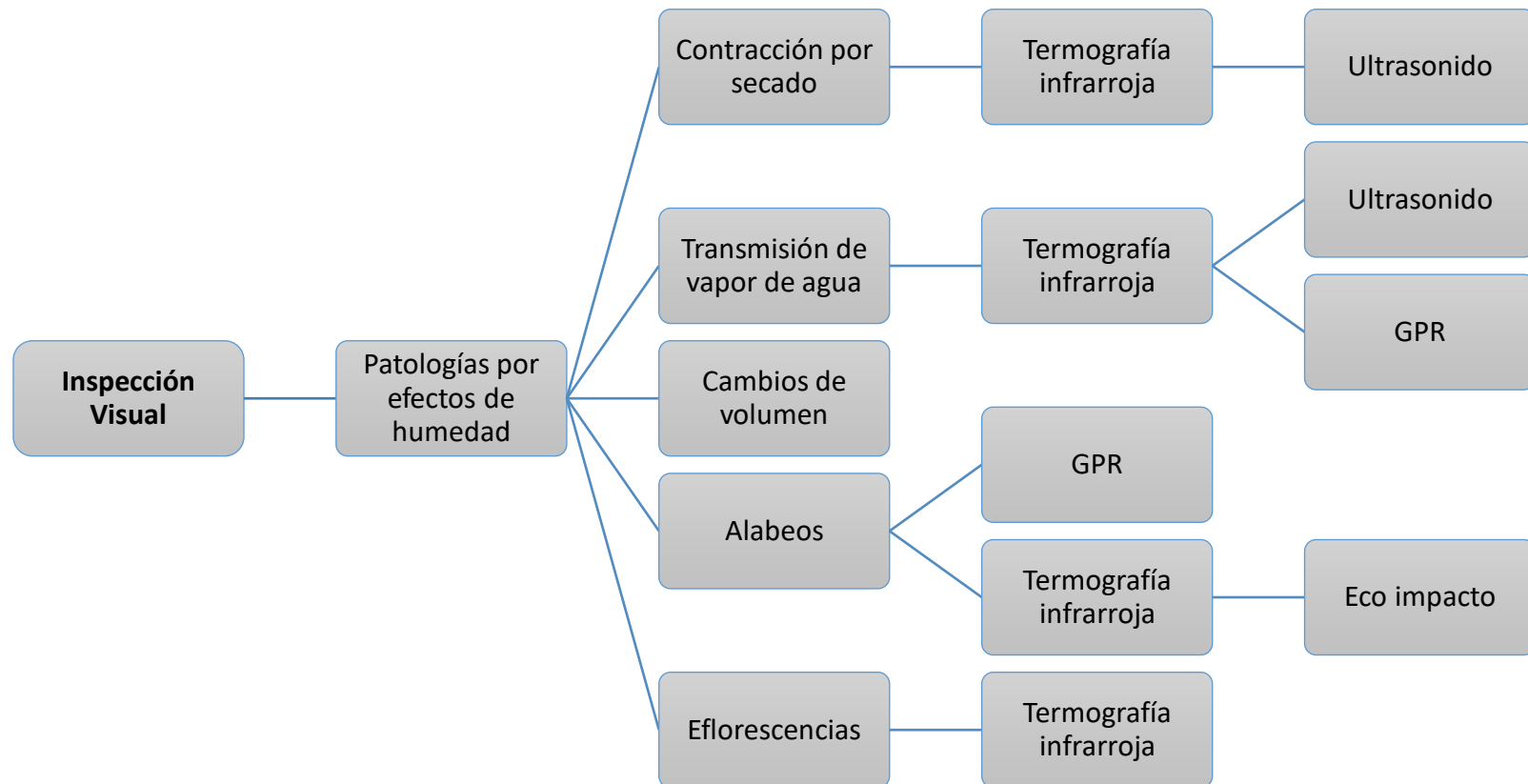


UNIVERSIDAD DE CUENCA



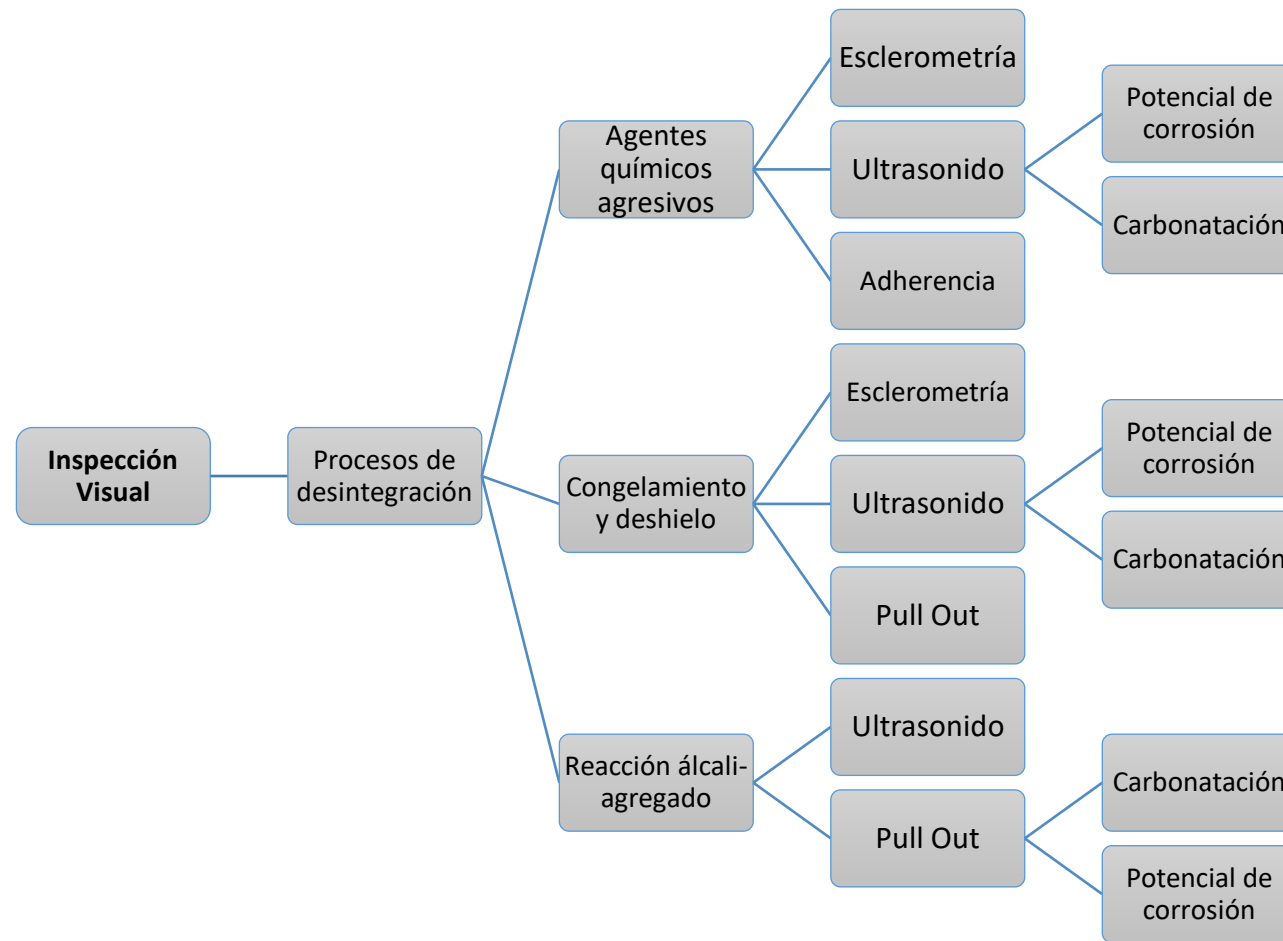


UNIVERSIDAD DE CUENCA



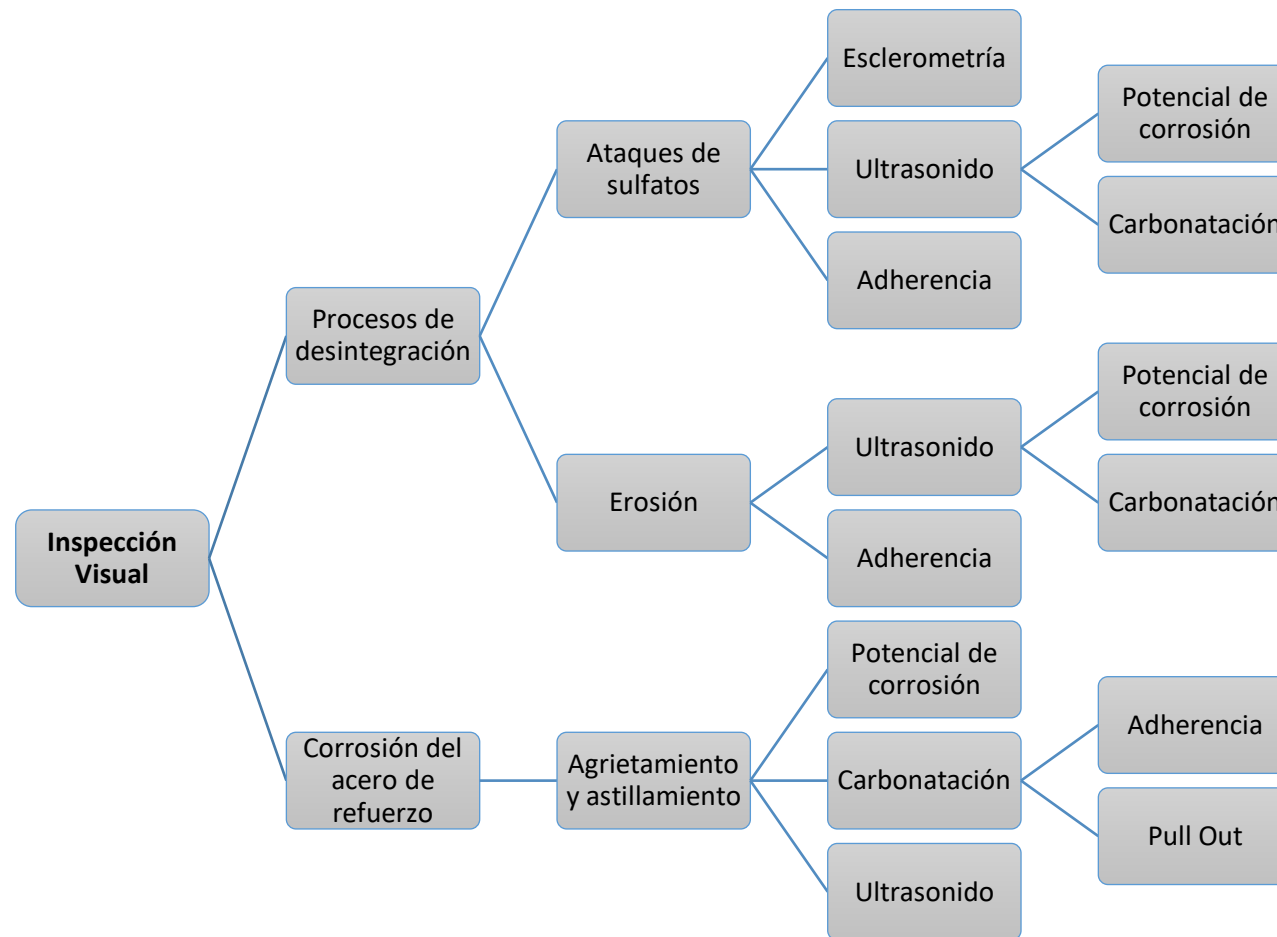


UNIVERSIDAD DE CUENCA



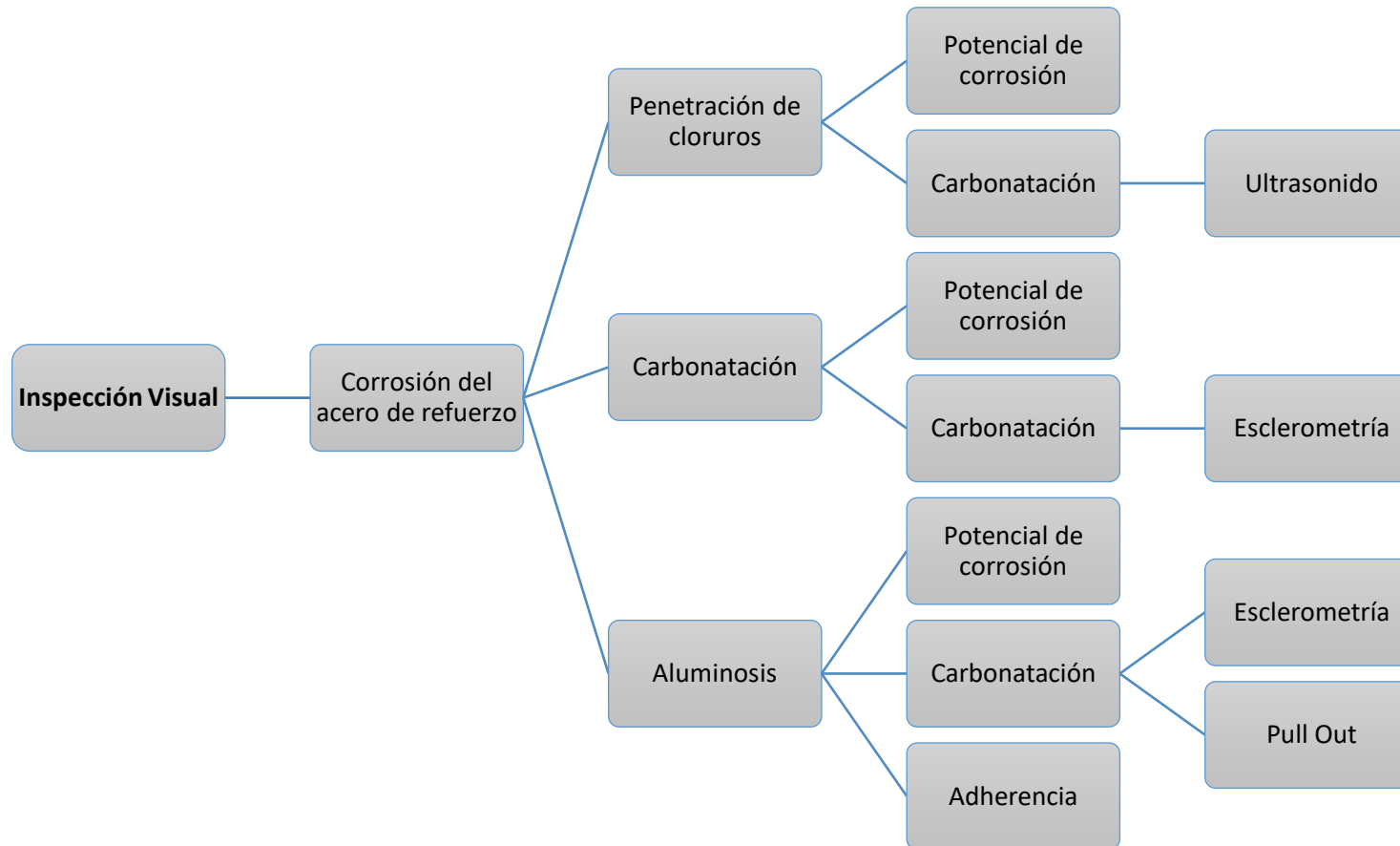


UNIVERSIDAD DE CUENCA



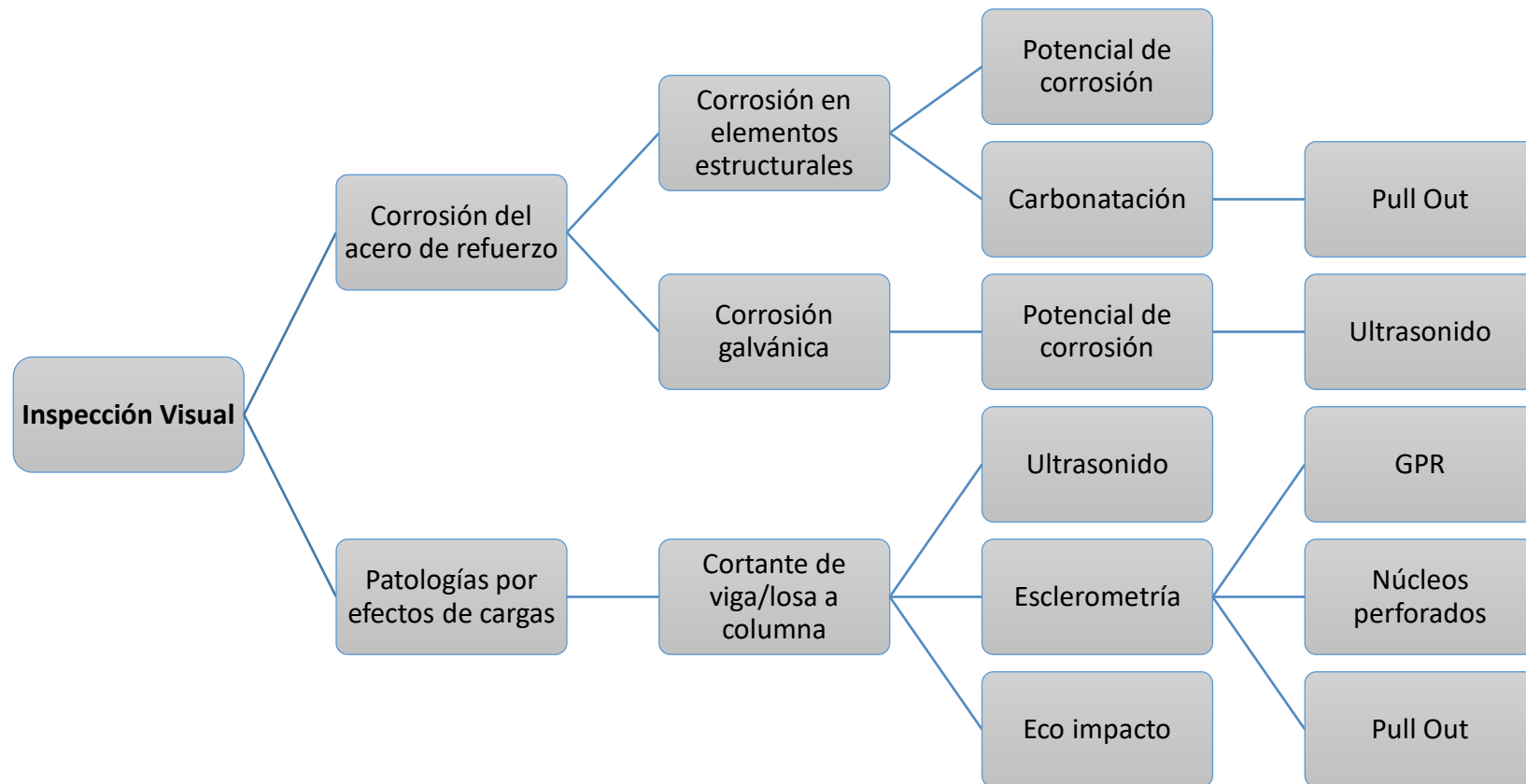


UNIVERSIDAD DE CUENCA



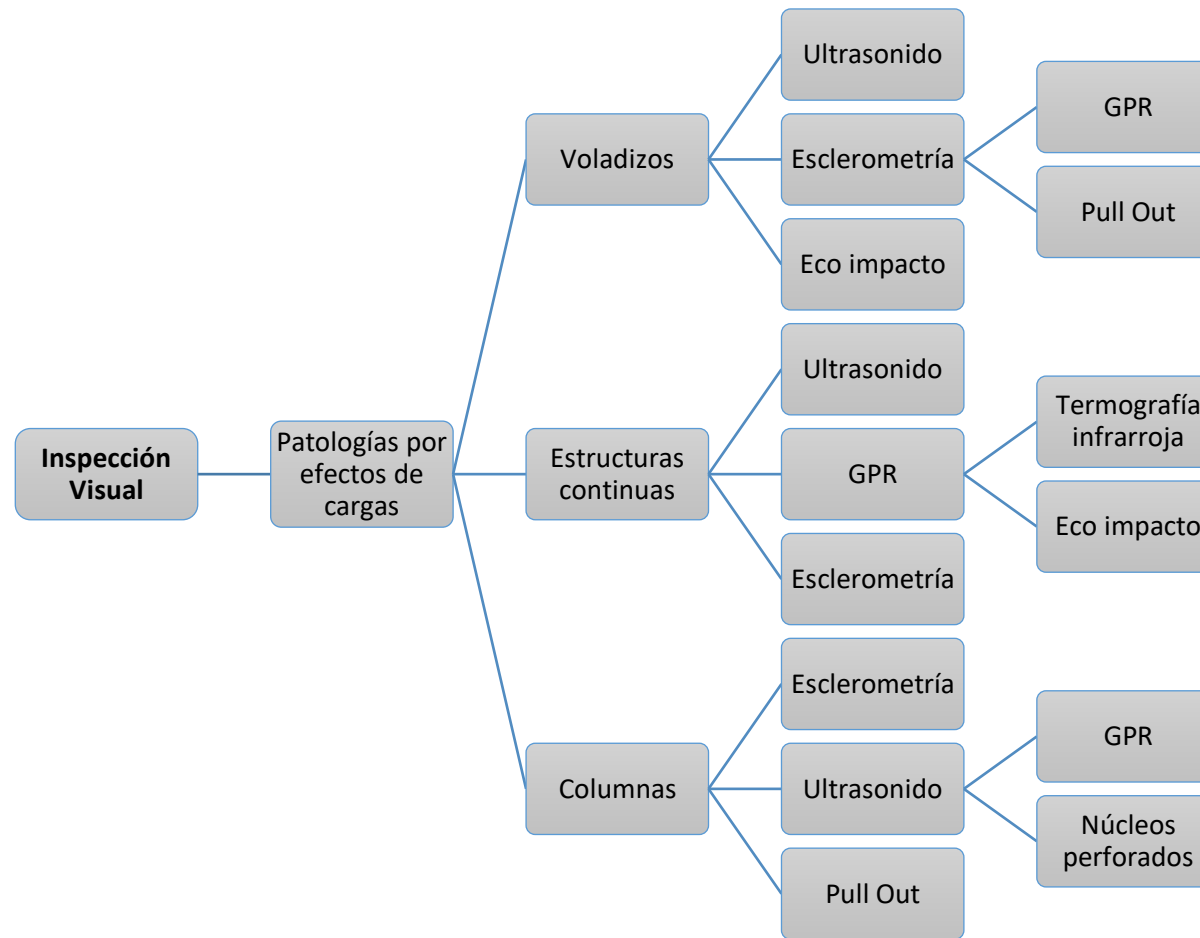


UNIVERSIDAD DE CUENCA



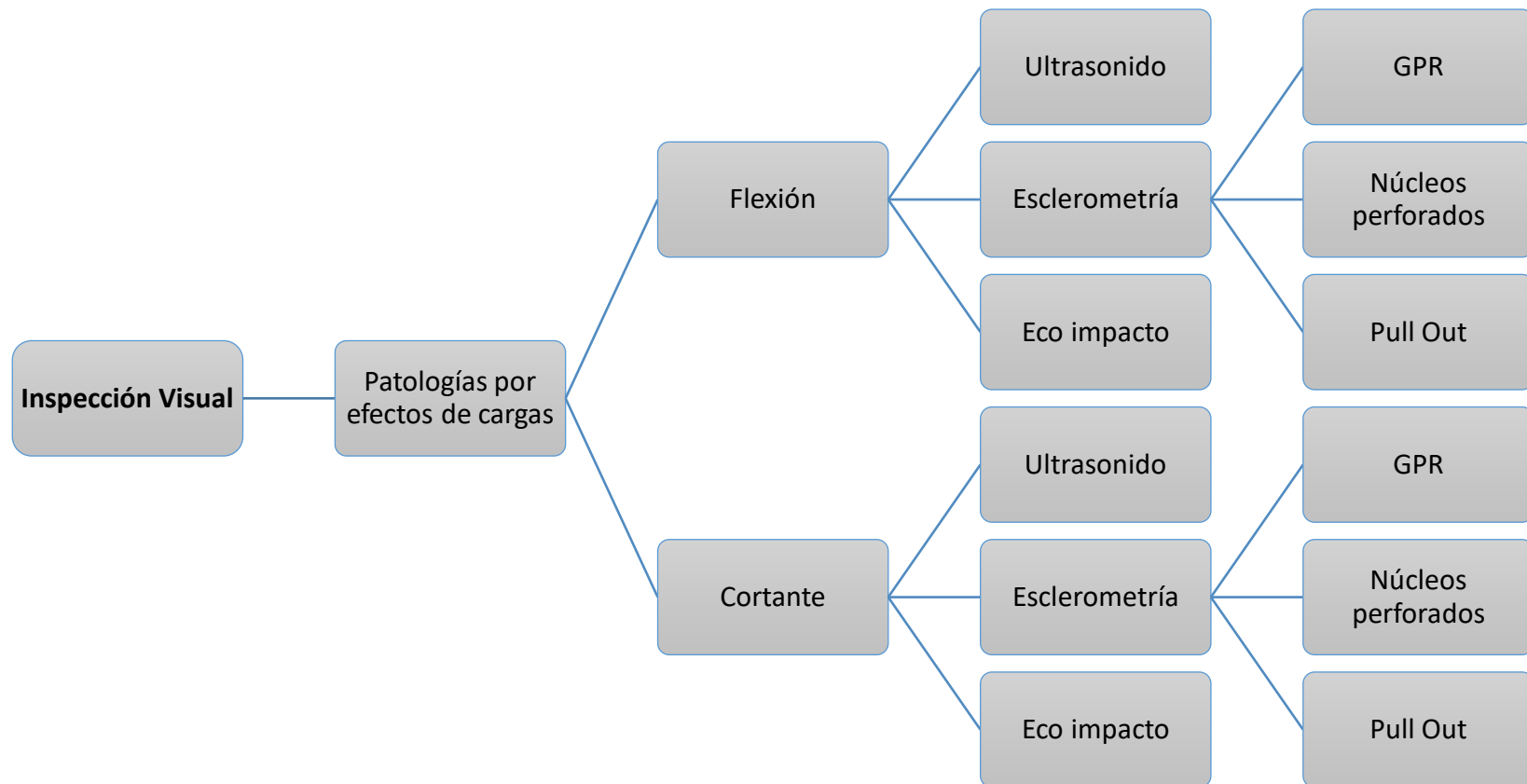


UNIVERSIDAD DE CUENCA



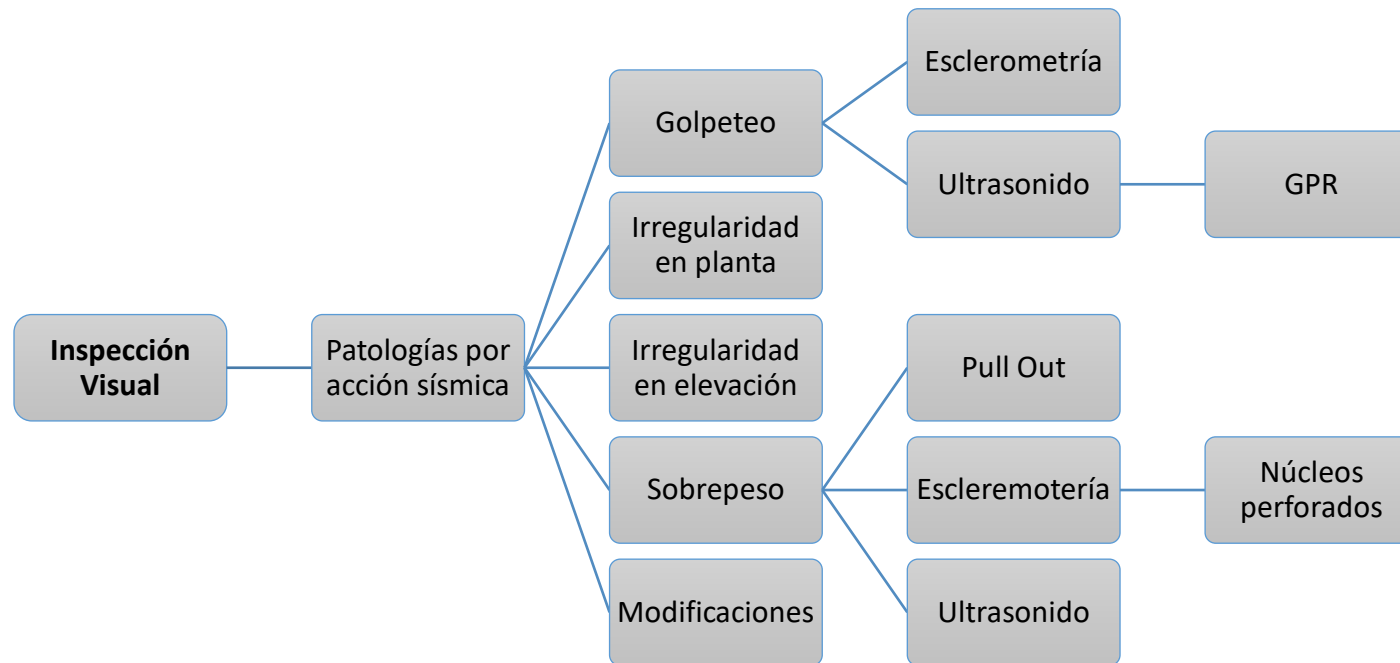


UNIVERSIDAD DE CUENCA



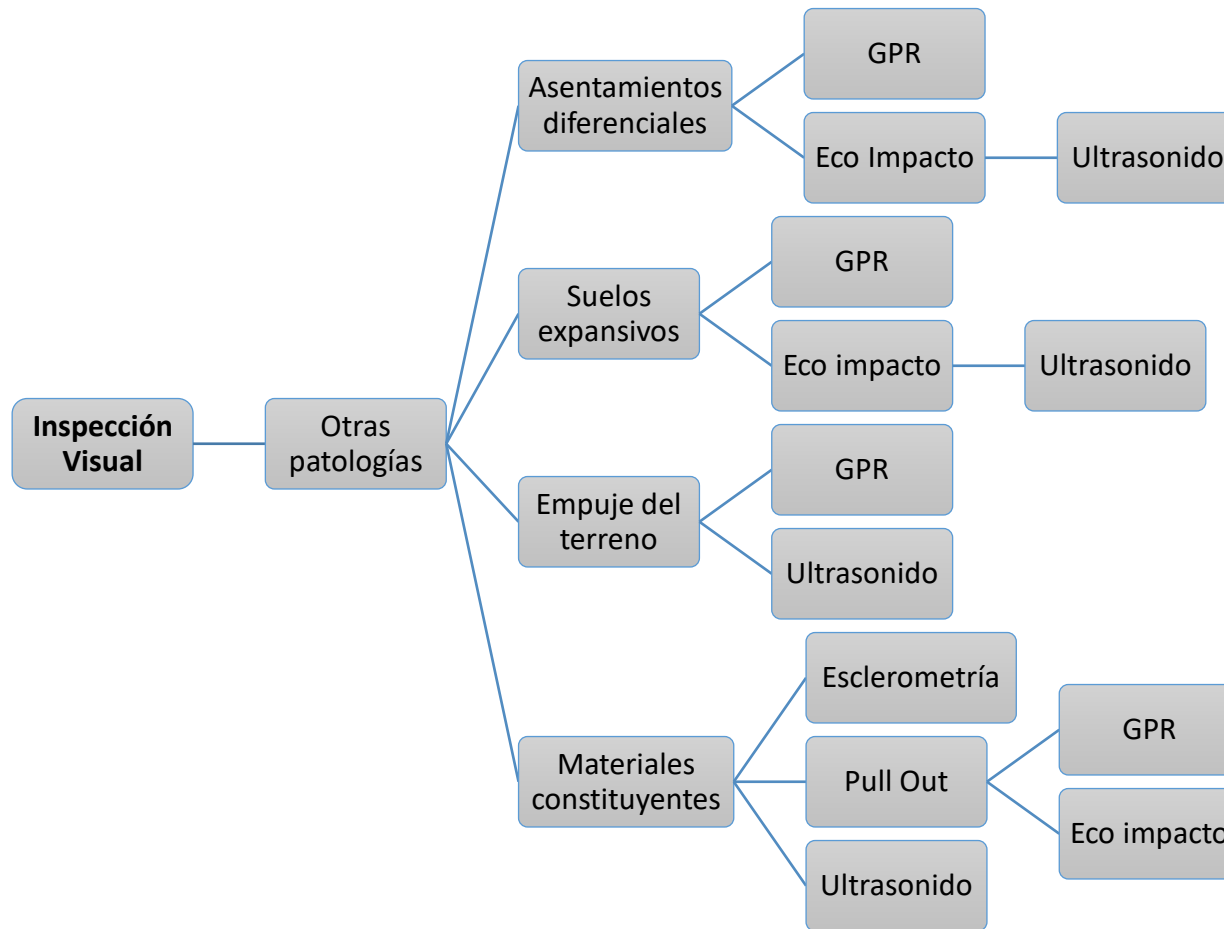


UNIVERSIDAD DE CUENCA





UNIVERSIDAD DE CUENCA





UNIVERSIDAD DE CUENCA

4.2. ÁRBOLES DE SOLUCIONES BASADOS EN DAÑOS VISIBLES

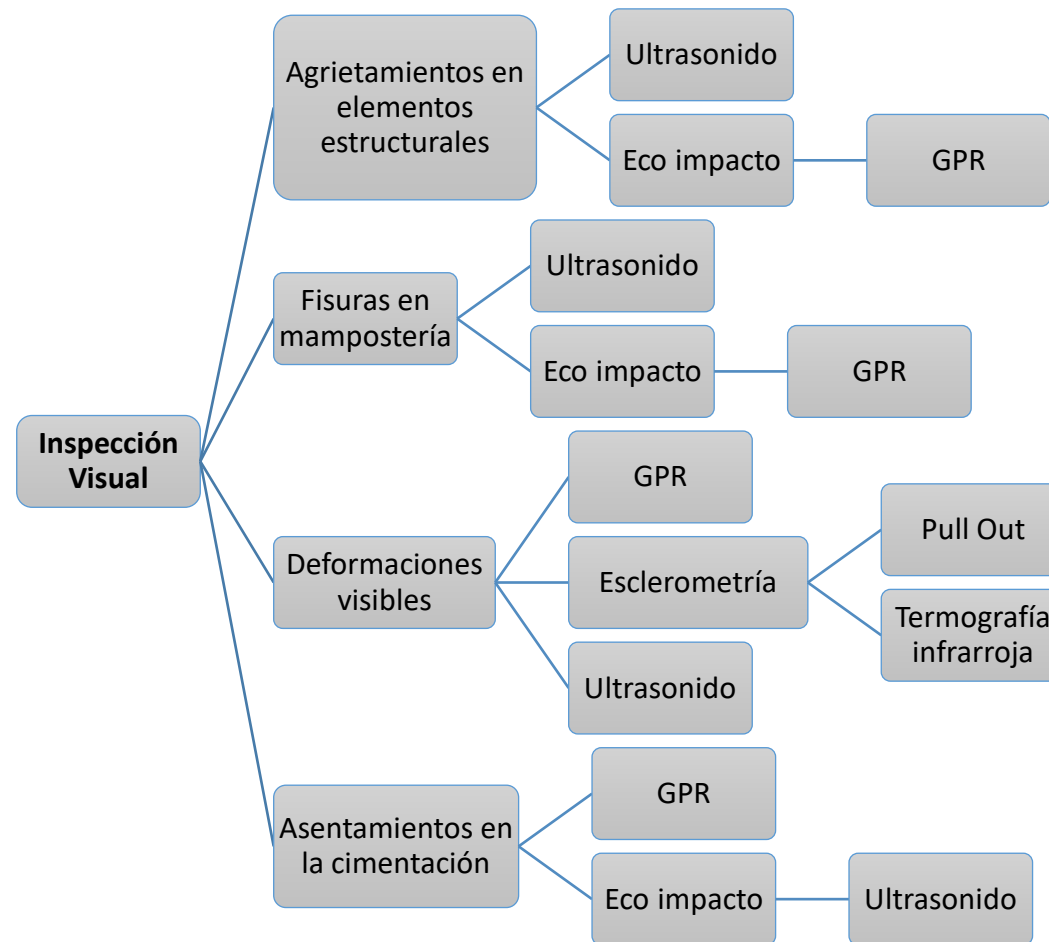
Vigencia desde:

Marzo-2021

Página 354 de 473

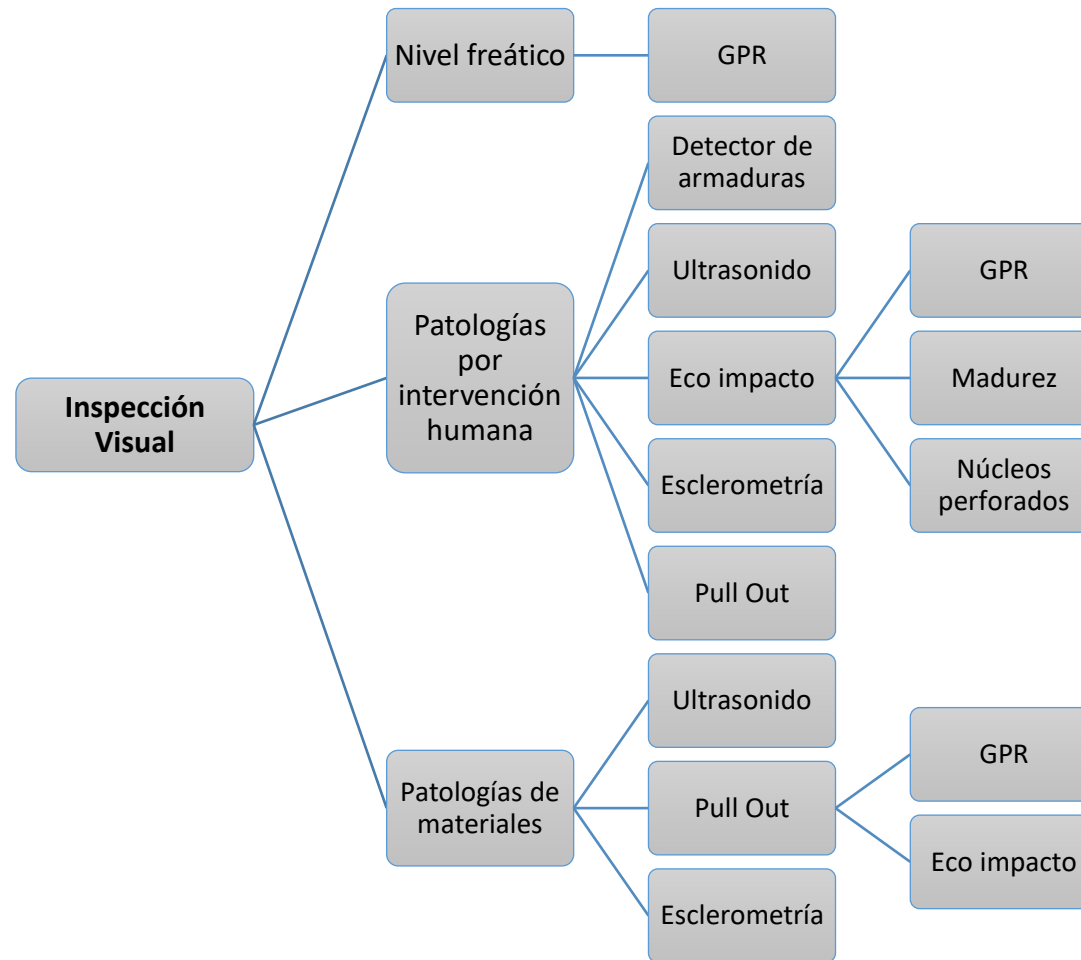


UNIVERSIDAD DE CUENCA



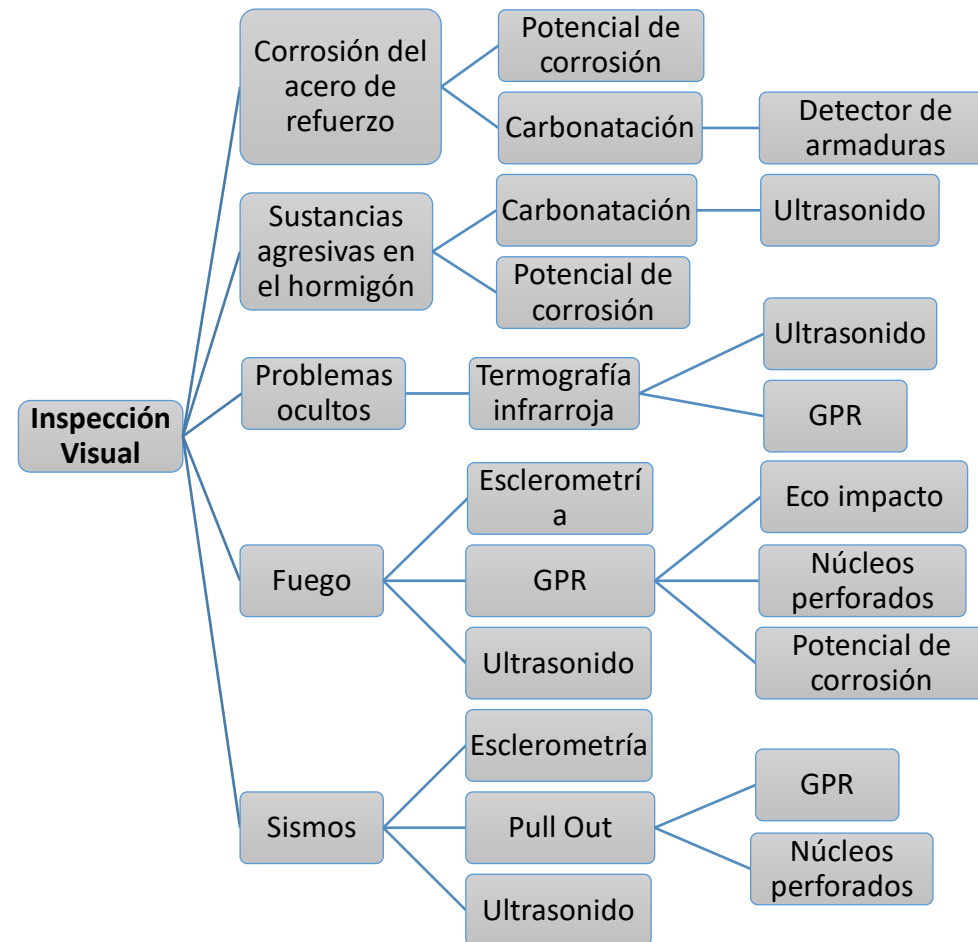


UNIVERSIDAD DE CUENCA



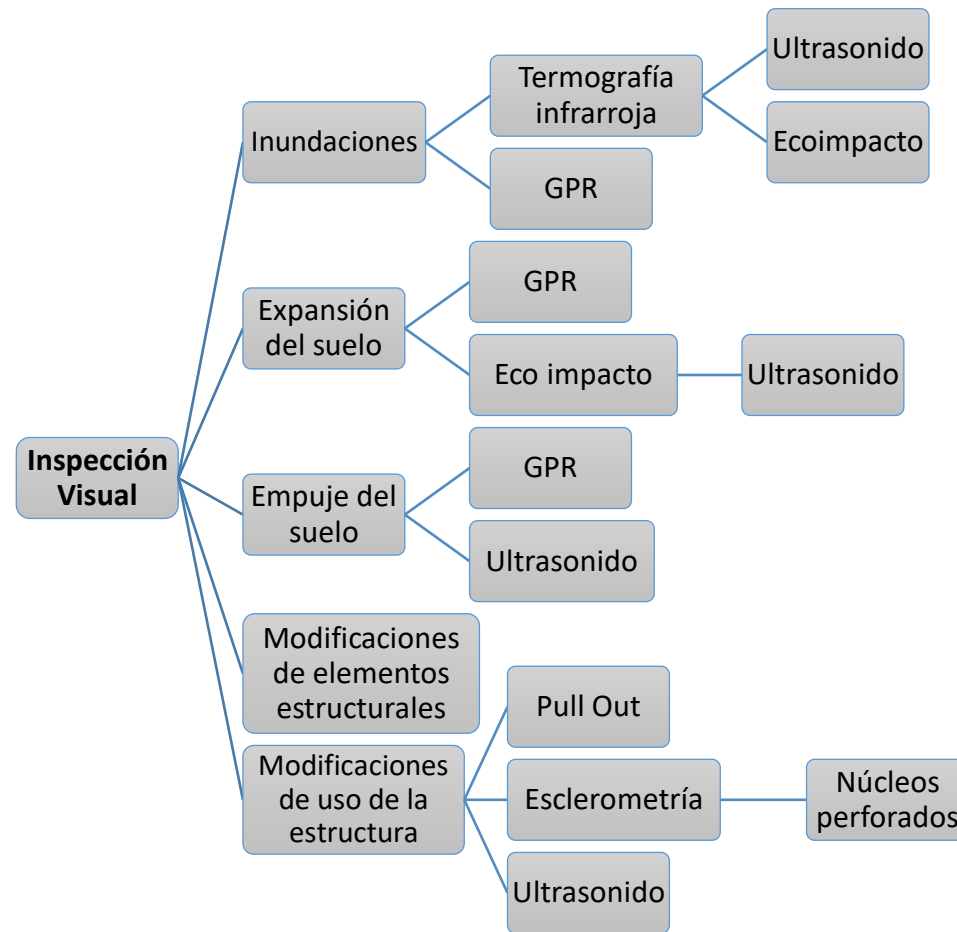


UNIVERSIDAD DE CUENCA





UNIVERSIDAD DE CUENCA



CAPÍTULO V: EJEMPLO DE APLICACIÓN



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Contenido

CAPÍTULO V: EJEMPLO DE APLICACIÓN	359
Introducción	362
Informe preliminar	363
Nombre del proyecto	363
Ubicación geográfica	363
Zona de amenaza sísmica	363
Descripción del problema	364
Fase de documentación	365
Inspección Visual	366
Clasificación de patologías identificadas en la inspección visual	369
Daños determinados en la inspección visual	370
Árboles de soluciones	370
INFORME TÉCNICO	383
Objetivo	384
Evaluación de la estructura	384
Alcance	384
Ensayos realizados	384
Resultados de la evaluación	385
Ensayo de Carbonatación	385
Ensayo de Esclerometría	386
Ensayo de Núcleos perforados	386
Ensayo de Adherencia	387
Levantamiento de fisuras	387
Ensayo de Ultrasonido	393
Levantamiento de oquedades	394
Ensayo de Potencial de corrosión	394
Análisis de resultados	397
Ensayo de Carbonatación	397
Ensayo de Esclerometría y Núcleos perforados	398
Ensayo de Adherencia	399
Levantamiento de fisuras y Ensayo de Ultrasonido	399

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **360** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Levantamiento de oquedades	399
Ensayo de Potencial de corrosión	399
Recomendaciones de rehabilitación	399
Anexos	404
Anexo 1: Fotografías	404
Profundidad de carbonatación	404
Esclerometría	405
Núcleos perforados.....	405
Adherencia.....	406
Levantamiento de fisuras y Ultrasonido	406
Levantamiento de oquedades	407
Potencial de corrosión	407
Anexo 2: Plantilla ensayo de Carbonatación.....	408
Anexo 3: Plantilla ensayo de Esclerometría	409
Anexo 4: Plantilla ensayo de Núcleos perforados.....	410
Anexo 5: Plantilla ensayo de Adherencia.....	411
Anexo 6: Plantilla ensayo de Ultrasonido	412
Anexo 7: Plantilla ensayo de Potencial de corrosión	413



Introducción

Para tener un ejemplo ajustado a la realidad, se toman los resultados de informes técnicos realizados en el puente Asunción en el año 2006; por este motivo, al momento de estructurar los informes y llenar las plantillas se toma como referencia dicho año.

Cuando se realiza una evaluación de la condición de una estructura se deben presentar dos informes: el informe preliminar y el informe técnico. En esta sección se muestra un ejemplo real de cada informe; la estructura o contenido que debe tener cada informe se presenta a continuación.

Informe preliminar

- Nombre del proyecto
- Ubicación geográfica
- Zona de amenaza sísmica
- Descripción del problema
- Vida de servicio
- Fase de documentación (Se puede tomar como referencia la PLANTILLA: FASE PRELIMINAR)
- Inspección Visual (Se recomienda la PLANTILLA: INSPECCIÓN VISUAL)
 - Descripción
 - Fotos
 - Calificación de la estructura
- Porcentajes de patologías (Tablas y/o gráficos)
- Identificación de patologías y daños visibles
 - Definir ensayos con los árboles de soluciones (CAPÍTULO IV: ÁRBOLES DE SOLUCIONES)
 - Listado de ensayos a realizar

Informe Técnico

- Objetivo
- Evaluación de la estructura
 - Alcance
 - Ensayos
- Resultados de la evaluación
- Análisis de resultados
- Recomendaciones de rehabilitación (materiales para tratamiento)
- Anexos (Fotos y plantillas)



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Informe preliminar

Nombre del proyecto

Evaluación y Diagnóstico de los pórticos del Puente Asunción

Ubicación geográfica

El puente en estudio está ubicado en la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay, Ecuador. Se encuentra en el sector de la Universidad del Azuay, específicamente en la Av. Francisco Moscoso (entre la calle Jacinto Flores y la Av. 24 de Mayo). Las coordenadas del puente se muestran el Gráfico 231.

Nombre:	<input type="text" value="Puente Asunción"/>	
Zona:	<input type="text" value="17 M"/>	
Coordenada Este:	<input type="text" value="722165.50 m E"/>	
Coordenada Norte:	<input type="text" value="9677371.95 m S"/>	

Gráfico 231 Coordenadas del puente. Fuente: (Google Earth)

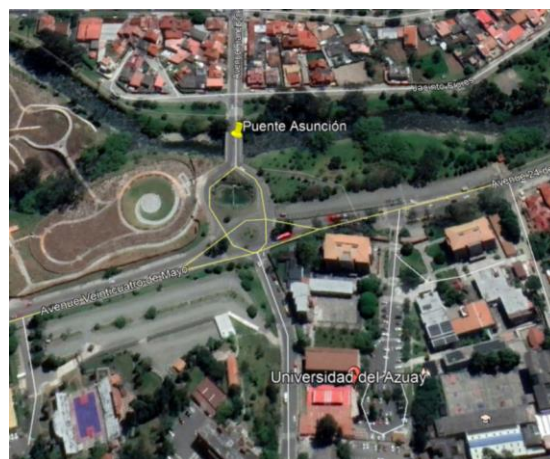
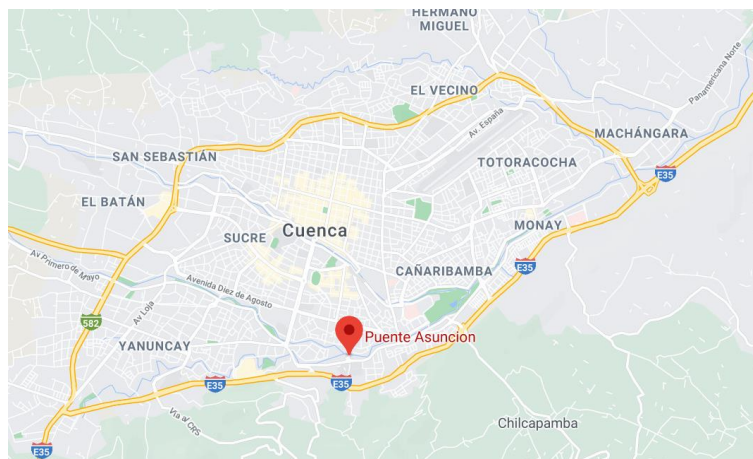


Gráfico 232 Ubicación de la ciudad de Cuenca. Fuente: (Google Maps, Google Earth)

Zona de amenaza sísmica

La ciudad de Cuenca está ubicada, según la norma NEC-SE-DS, en la zona sísmica II teniendo un alto peligro sísmico y un factor de Z de 0.25.

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página 363 de 473

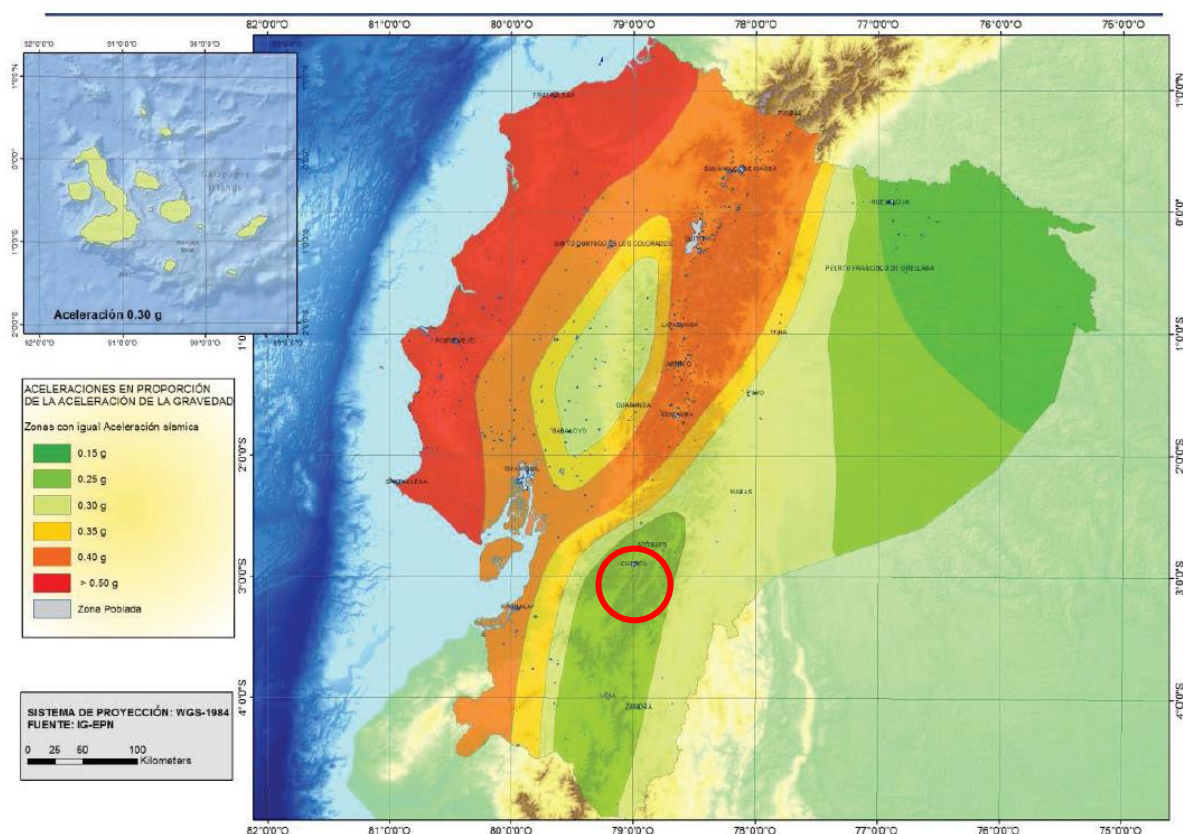


Gráfico 233 Zona sísmica de la ciudad de Cuenca. Fuente: (NEC-SE-DS, 2014)

Descripción del problema


El puente Asunción fue construido en el año de 1995. En el año de 1998, la zona es afectada por un macro deslizamiento que destruye varias casas, una parte de la autopista y produce varias fisuras en el puente. Como una solución provisional, el municipio decide construir una fosa cerca del puente para estabilizar el empuje del suelo sobre el estribo. El puente a simple vista presenta graves problemas de corrosión en las columnas y secciones de los pórticos, ya que el acero ha perdido por completo el recubrimiento en algunas zonas, debido a la erosión del agua o sustancias agresivas presentes; esto sumado a la falta de protección del acero de refuerzo puede ocasionar graves problemas estructurales. Se tiene una gran cantidad de fisuras que van desde un ancho de 0.44 mm hasta fisuras mayores a 5 mm. Se observan importantes oquedades y desprendimientos en las columnas cercanas a los estribos del puente. En las uniones columna-viga se observan grietas considerables, producto de los empujes del suelo que ponen en peligro la estabilidad de la estructura.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fase de documentación

Para la fase de documentación se utiliza la plantilla END01_FD ubicada en la sección 6.4.

 UNIVERSIDAD DE CUENCA Facultad de Ingeniería		MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-DESTRUCTIVOS		CÓDIGO END01_FD
INSTITUCIÓN	Universidad de Cuenca	HORA	FECHA	
PROYECTO	Evaluación y diagnóstico de los pórticos del puente Asunción	11:21	15/10/2006	
UBICACIÓN	Av. Francisco Moscoso, sector Universidad del Azuay	ZONA SÍSMICA	II	
FASE PRELIMINAR				
Variable	Sí	No	Observaciones	
Tipo de estructura				
Tipo de cimentación	X		Estribos	
Sistema estructural	X		Puente de viga, modificados los apoyos	
Irregularidades		X		
Diseños estructurales no recomendados		X		
Diseñadores				
Arquitecto		X		
Ingeniero de suelos		X		
Ingeniero estructural		X		
Ingeniero asesor de materiales		X		
Especificaciones del proyecto				
Constructor		X		
Fiscalizador		X		
Proveedor de materiales		X		
Historial de la estructura				
Fechas de diseño y cumplimiento de normas		X		
Construcción y puesta en servicio	X		En el año 1995	
Vida útil proyectada	X		100 años	
Área construída	X		Alrededor de 750 m ²	
Propietarios y usos	X		Uso de la población	
Registros de actividad sísmica, actividad geológica y estudios de suelos	X		Estructura afectada por un macrodeslizamiento	
Información sobre el funcionamiento, ocupación y límites de carga		X		
Planes de alteración y órdenes de cambio		X		
Revisión del proyecto original y registros de construcción				
Planos de diseño, especificaciones y cálculos		X		
Libro de obra		X		
Colocación de armadura de concreto		X		
Códigos de construcción		X		
Materiales de construcción y datos de ensayo		X		
Control de calidad e informes de inspección en campo		X		
Fotografías del proceso constructivo		X		
Calidad del diseño y la construcción de la estructura original			Regular, debido a la falta de un buen estudio de suelo	

Vigencia desde:

Marzo-2021


Página **365** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Inspección Visual

Para la inspección visual se utiliza la plantilla END01 ubicada en la sección 6.4 y se toma como referencia los pesos indicados en la Tabla 23. Para esto se debe identificar los elementos estructurales con una letra, número o código.

	UNIVERSIDAD DE CUENCA Facultad de Ingeniería	MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-DESTRUCTIVOS				CÓDIGO	
						END01	
INSTITUCIÓN	Universidad de Cuenca				HORA	FECHA	
PROYECTO	Evaluación y diagnóstico de los pórticos del puente Asunción				11:21	15/10/2006	
UBICACIÓN	Av. Francisco Moscoso, sector Universidad del Azuay				ZONA SÍSMICA	II	
INSPECCIÓN VISUAL							
Variable	Sí	No	Observaciones	Bueno	Regular	Malo	
Agrietamientos en elementos estructurales	X		Fisuras en elementos estructurales del pórtico			5	
Fisuras en mampostería		X					
Deformaciones y desviaciones visibles		X					
Asentamientos en la cimentación		X					
Nivel freático	X		Nivel freático alto, por cercanía al río			4	
Geometría y materiales estructurales							
Patologías por efecto humano		X					
Patologías de materiales		X					
Corrosión del acero de refuerzo	X		Corrosión en los estribos por pérdida de recubrimiento			5	
Condiciones ambientales							
Humedad relativa	X		Humedad del 53%		2		
Temperatura	X		Temperatura de 22°C	1			
Tipo de agua presente	X		Agua con color y baja turbiedad		2		
Sustancias agresivas y concentración	X		Cloruros y pequeñas descargas clandestinas de aguas residuales industriales			3	
Problemas ocultos		X					
Condiciones de exposición especiales							
Fuego		X					
Viento		X					
Sismos		X					
Vibraciones no naturales		X					
Inundaciones	X		Altos niveles de agua en épocas de invierno		4		
Expansión del suelo		X					
Empuje del suelo	X		Empuje por deslizamiento por falla localizada en el sector			5	
Verificación de la construcción conforme a obra							
Modificaciones de elementos estructurales	X		No se cumplió el plan original, se modificó uno de los apoyos	5			
Modificaciones de uso de la estructura		X					
Incumplimiento de especificaciones técnicas		X					
Actualización de normas		X					
Total				6	8	22	
Estado de la estructura				Mala			



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Una vez realizada la inspección visual, se llega a la conclusión que el estado actual de la estructura es “Mala”, sin embargo, no existe un peligro de colapso por lo que no es necesario realizar una demolición de la misma.

Existen grietas en las uniones viga-columna provocadas por el empuje del suelo y pequeñas fisuras en la superficie de las columnas.



Gráfico 234 Agrietamiento y fisuras en los elementos estructurales. Fuente: (Mogrovejo Carrasco, 2006)

El nivel freático es alto debido al contacto con el río y se pueden presentar inundaciones en épocas con alto porcentaje de lluvia.

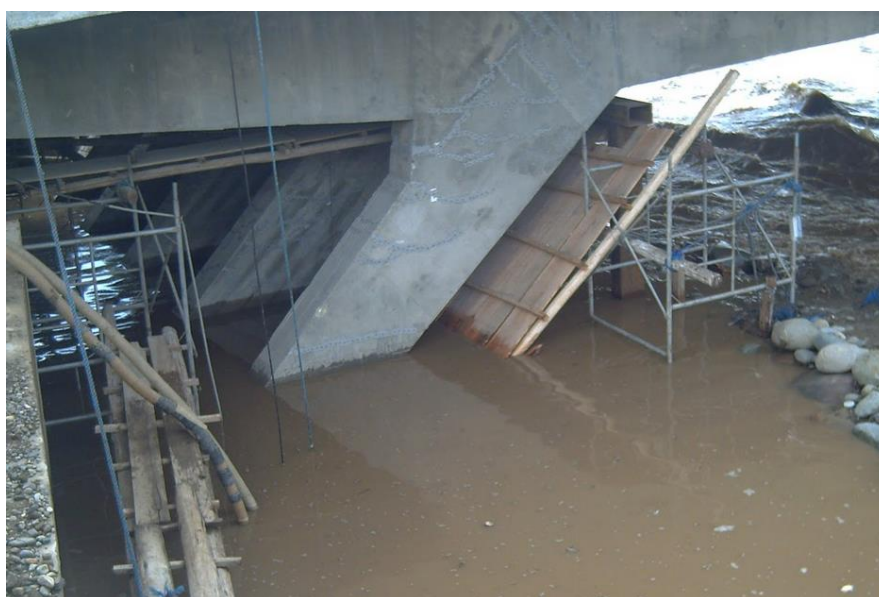


Gráfico 235 Inundaciones en columnas y estribos del puente. Fuente: (Mogrovejo Carrasco, 2006)

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **367** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

En el Gráfico 235 se ve el color oscuro que tiene el río. Esto mezclado con los cloruros o sustancias agresivas que fueron encontradas en pruebas del laboratorio químico usando muestras de agua del sector (Pauta et al., 2019), provocan daño en la superficie de hormigón llegando a la pérdida del recubrimiento y la corrosión del acero de refuerzo.



Gráfico 236 Corrosión del acero de refuerzo. Fuente: (Mogrovejo Carrasco, 2006)

Durante la construcción del puente, se modificó uno de los apoyos debido a que se detectó que el suelo no era apropiado.

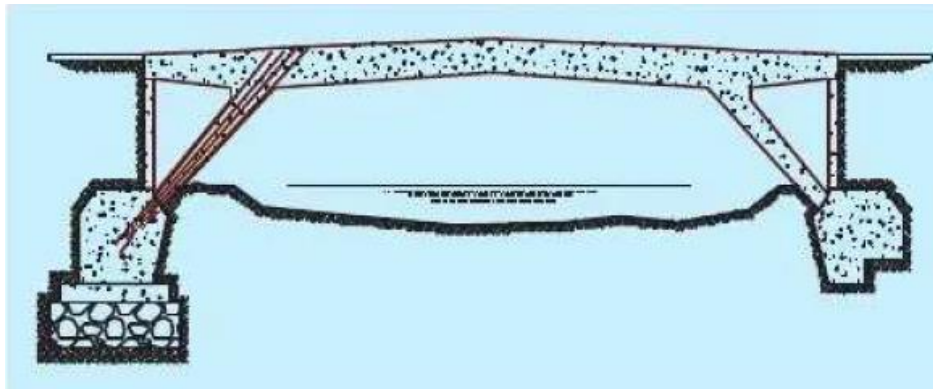


Gráfico 237 Modificación del apoyo del puente. Fuente: (Sika Ecuatoriana S.A, 2007)

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **368** de **473**



Clasificación de patologías identificadas en la inspección visual

Una vez realizada la inspección visual se procede a clasificar las patologías de acuerdo a la clasificación mostrada en el CAPÍTULO II: PATOLOGÍAS DE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN. La Tabla 37 indica las patologías generales y, en caso de existir, las patologías específicas presentes en la estructura.

Patologías generales	Patologías específicas
Patologías por intervención humana	Juntas frías
	Segregación
Patologías por efectos térmicos	No
Patologías por efectos de humedad	No
Procesos de desintegración	Agentes químicos agresivos
	Ataque de sulfatos
	Erosión
Corrosión del acero de refuerzo	Agrietamiento y astillamiento
	Penetración de cloruros
	Carbonatación
Patologías por efectos de cargas	Cortante
Patologías por acción sísmica	No
Otras patologías	Empuje del terreno

Tabla 37 Patologías generales y específicas del puente. Fuente: (Autores)

Con los datos mostrados, se puede calcular el porcentaje de cada patología general encontrada en el puente.

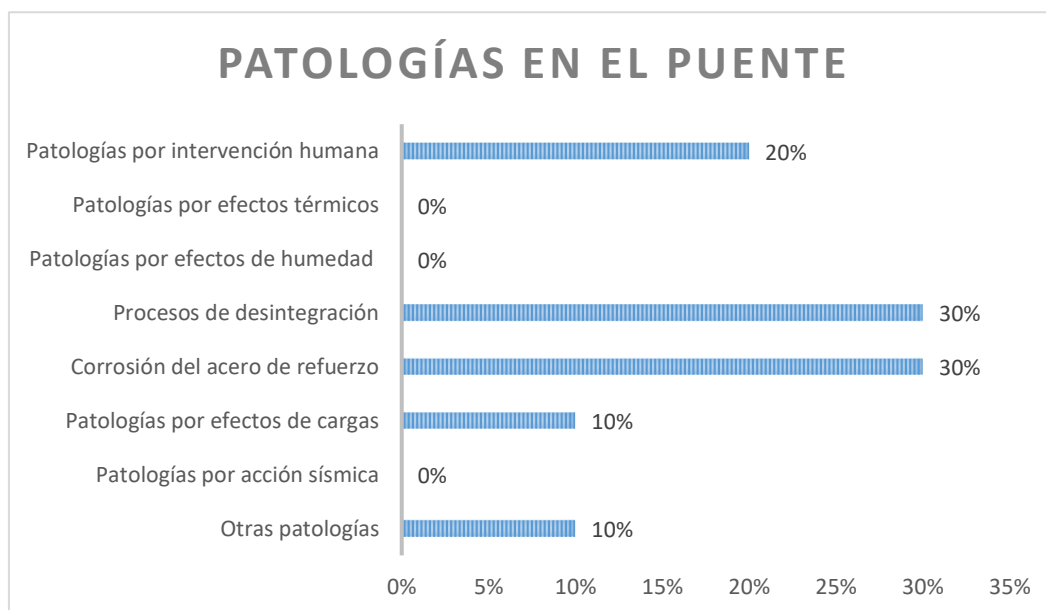


Gráfico 238 Porcentaje de tipos de patologías presentes en el puente. Fuente: (Autores)



Daños determinados en la inspección visual

La Tabla 38 muestra los daños presentes en la estructura, tomando como referencia la plantilla END01.

Daños visibles en inspección visual	Existencia
Agrietamientos en elementos estructurales	SI
Fisuras en mampostería	NO
Deformaciones visibles	NO
Asentamientos en la cimentación	NO
Nivel freático	SI
Patologías por intervención humana	SI
Patologías de materiales	NO
Corrosión del acero de refuerzo	SI
Sustancias agresivas en el hormigón	SI
Problemas ocultos	NO
Fuego	NO
Sismos	NO
Inundaciones	SI
Expansión del suelo	NO
Empuje del suelo	SI
Modificaciones de elementos estructurales	NO
Modificaciones de uso de la estructura	NO

Tabla 38 Daños visibles identificados en la inspección visual. Fuente: (Autores)

Árboles de soluciones

Tomando como referencia la clasificación de patologías encontradas en el puente (Tabla 37) se sigue el camino indicado en la sección 4.1. El camino a seguir se marca con color rojo en el Gráfico 239, Gráfico 240, Gráfico 241, Gráfico 242, Gráfico 243, Gráfico 244 y Gráfico 245.

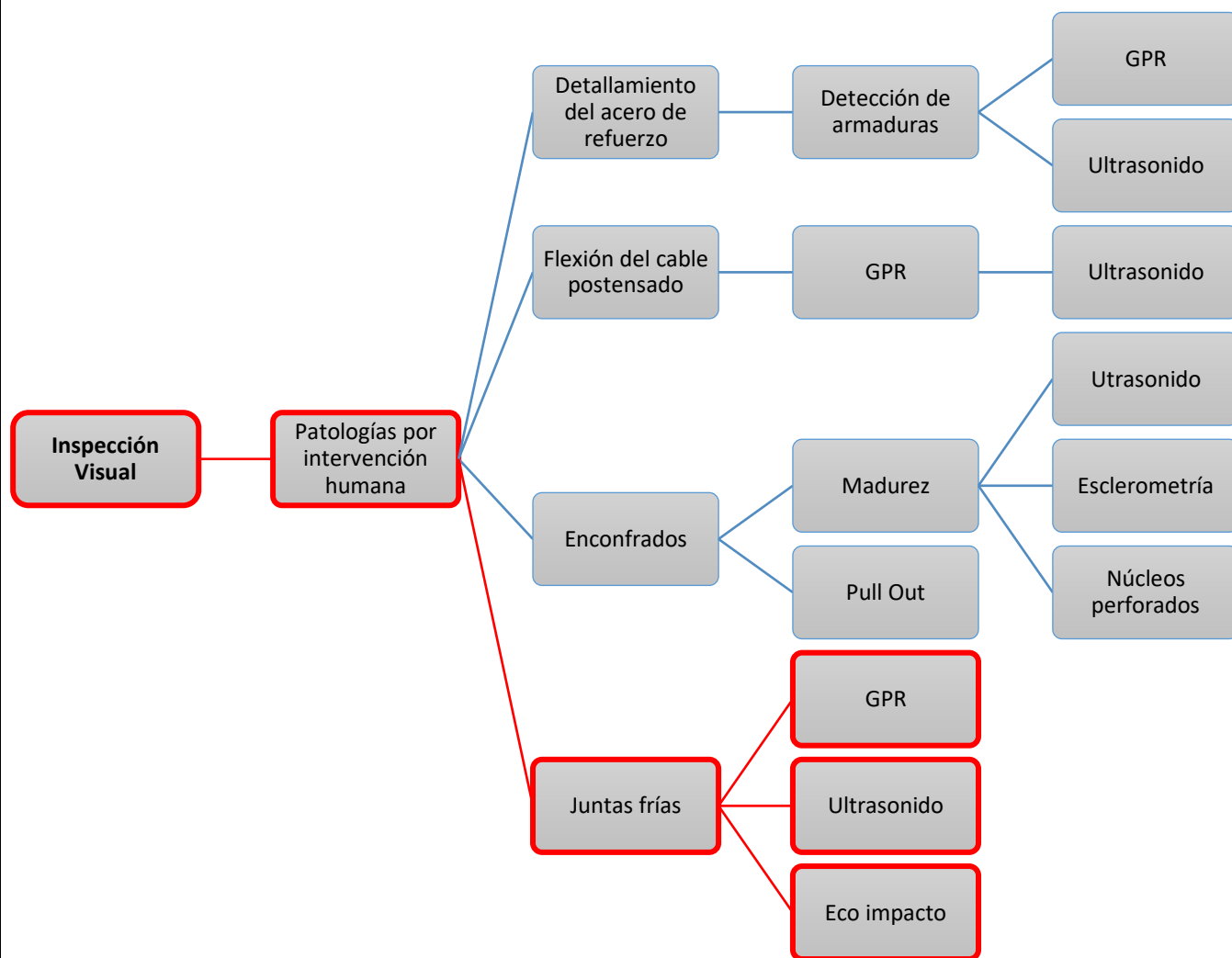


Gráfico 239 Árbol de solución para Juntas frías. Fuente: (Autores)

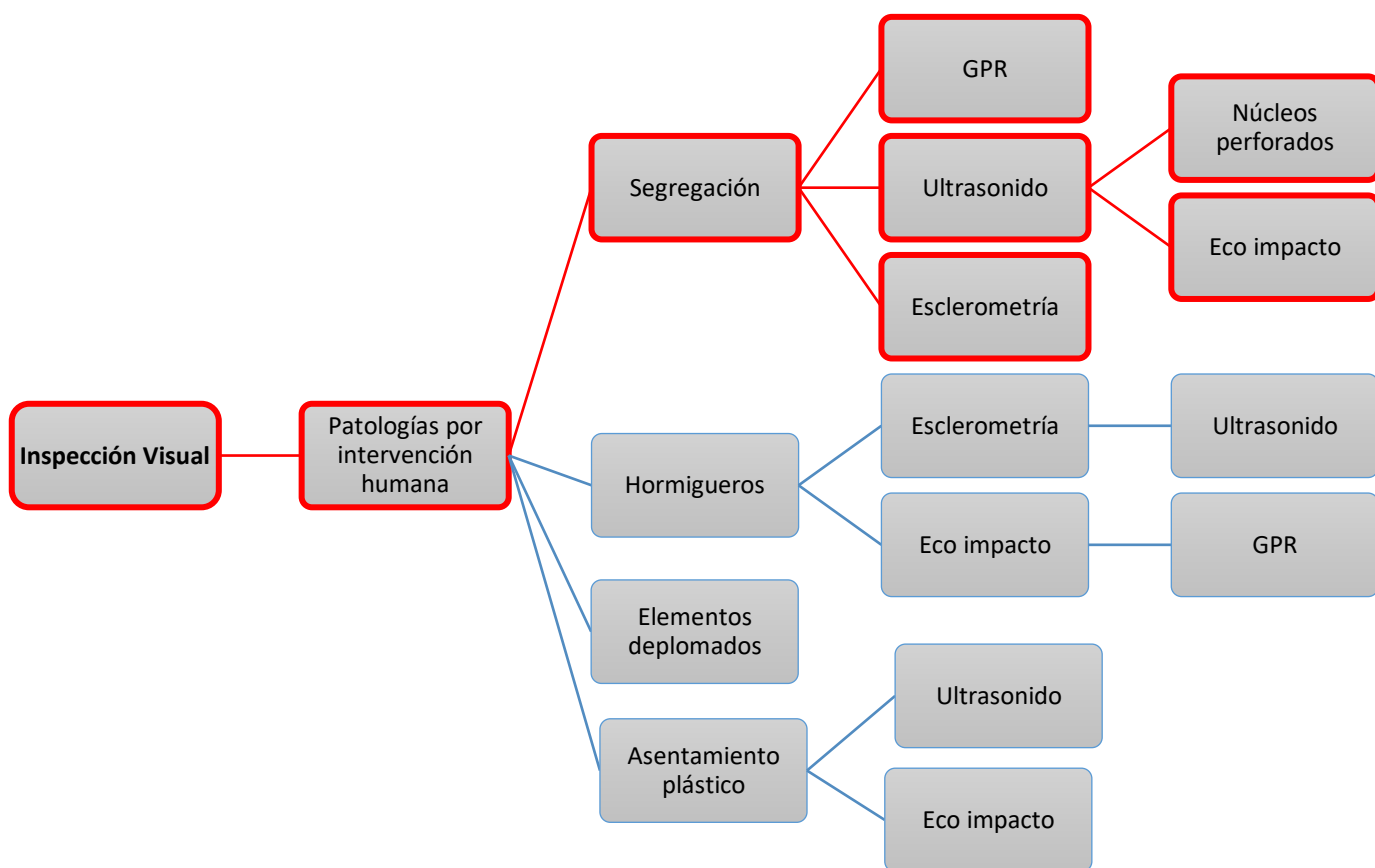


Gráfico 240 Árbol de solución para Segregación. Fuente: (Autores)

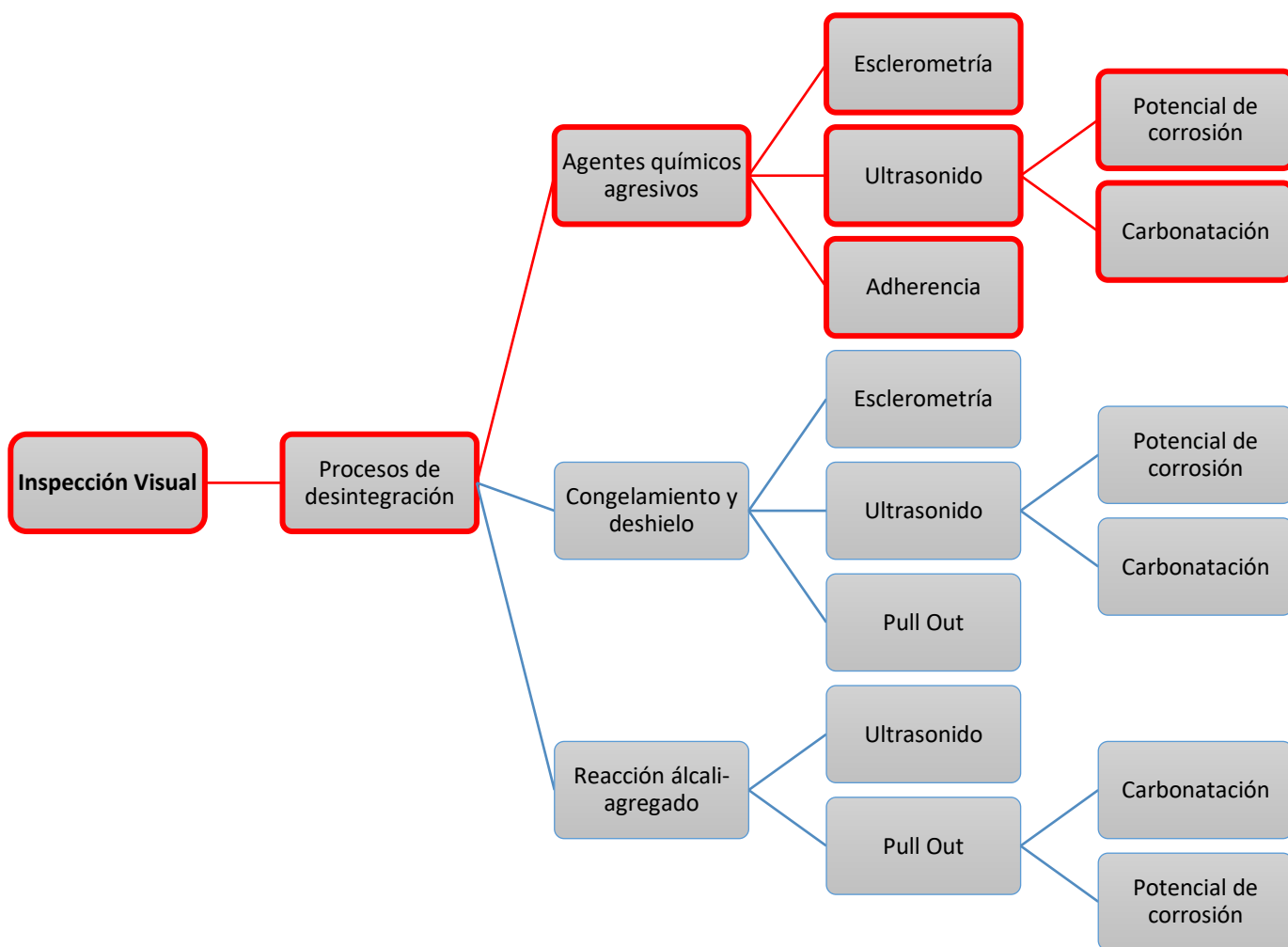


Gráfico 241 Árbol de solución para Agentes químicos agresivos. Fuente: (Autores)

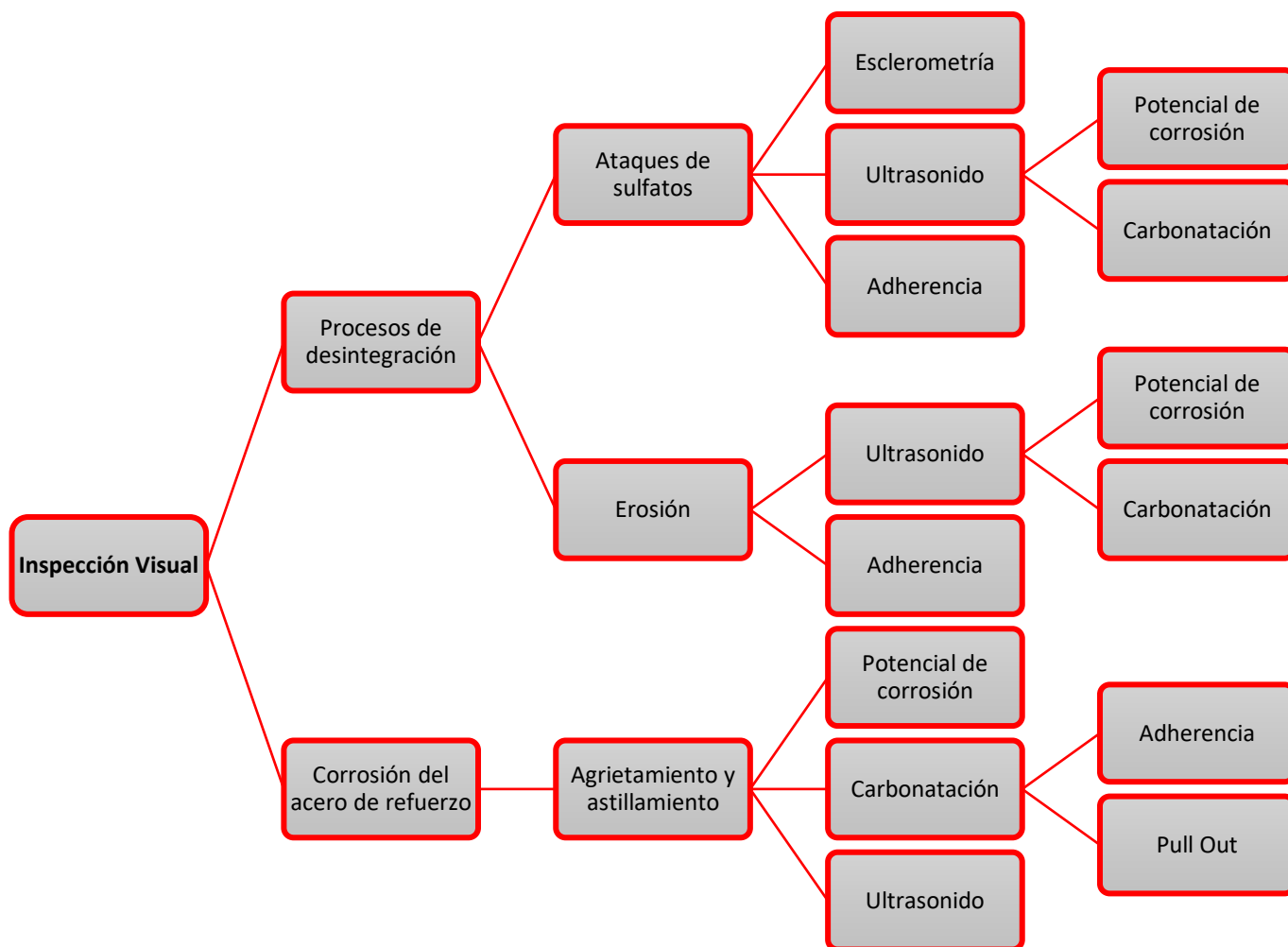


Gráfico 242 Árbol de solución para Ataques de sulfatos, Erosión y Agrietamiento y astillamiento. Fuente: (Autores)

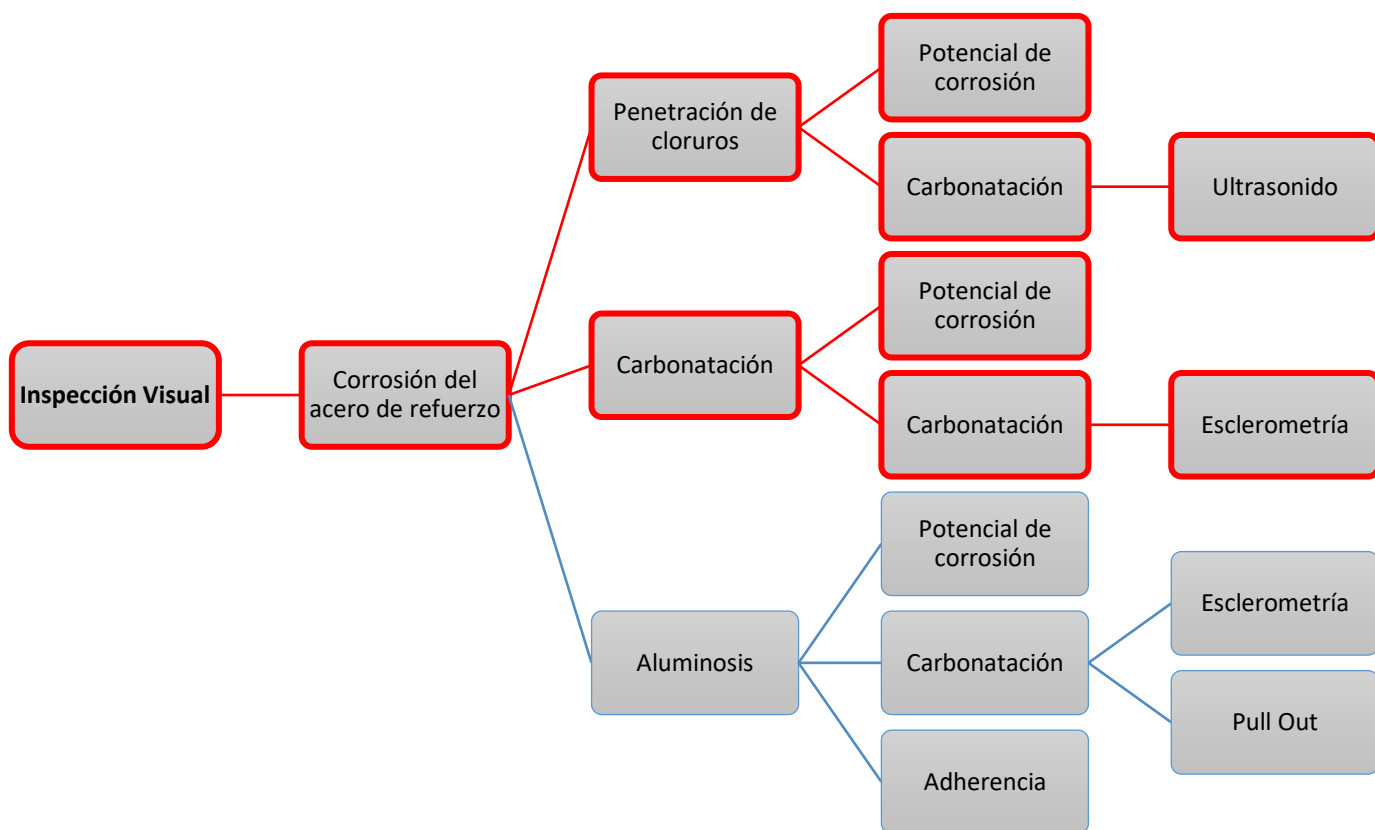


Gráfico 243 Árbol de solución para Penetración de cloruros y Carbonatación. Fuente: (Autores)

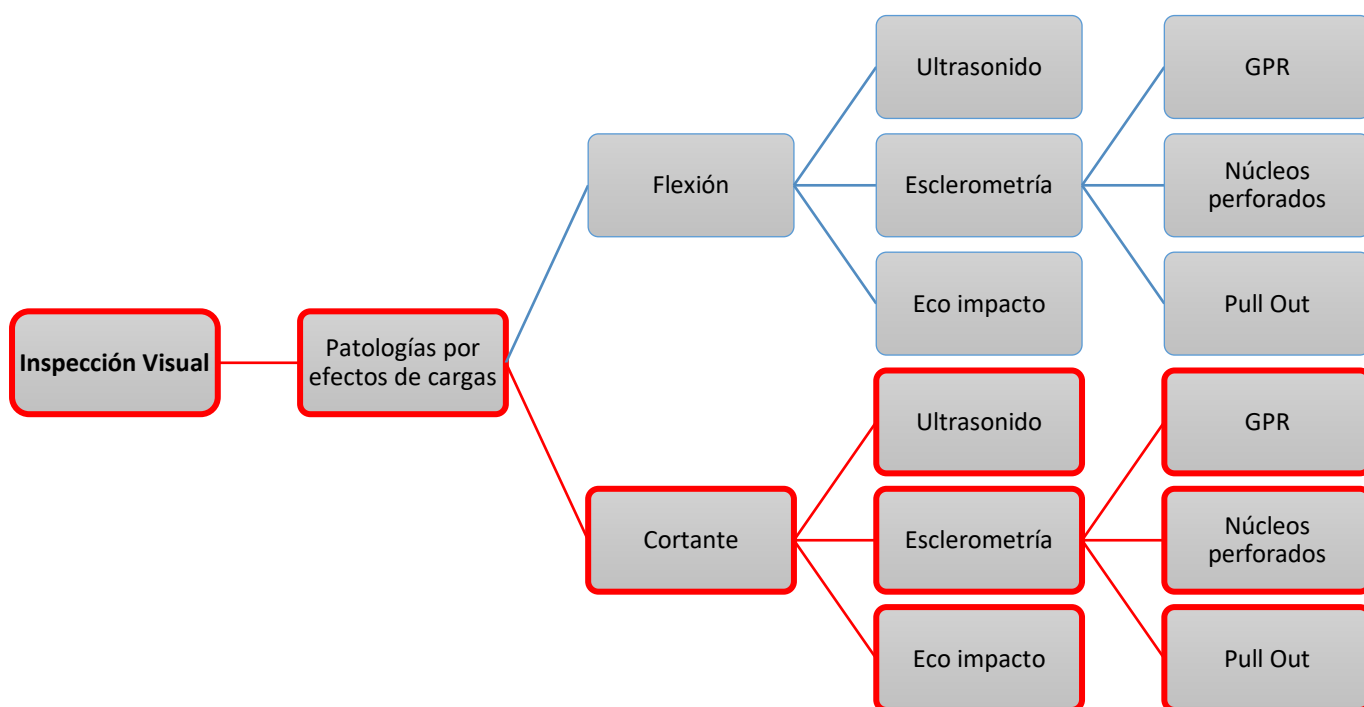


Gráfico 244 Árbol de solución para Cortante. Fuente: (Autores)

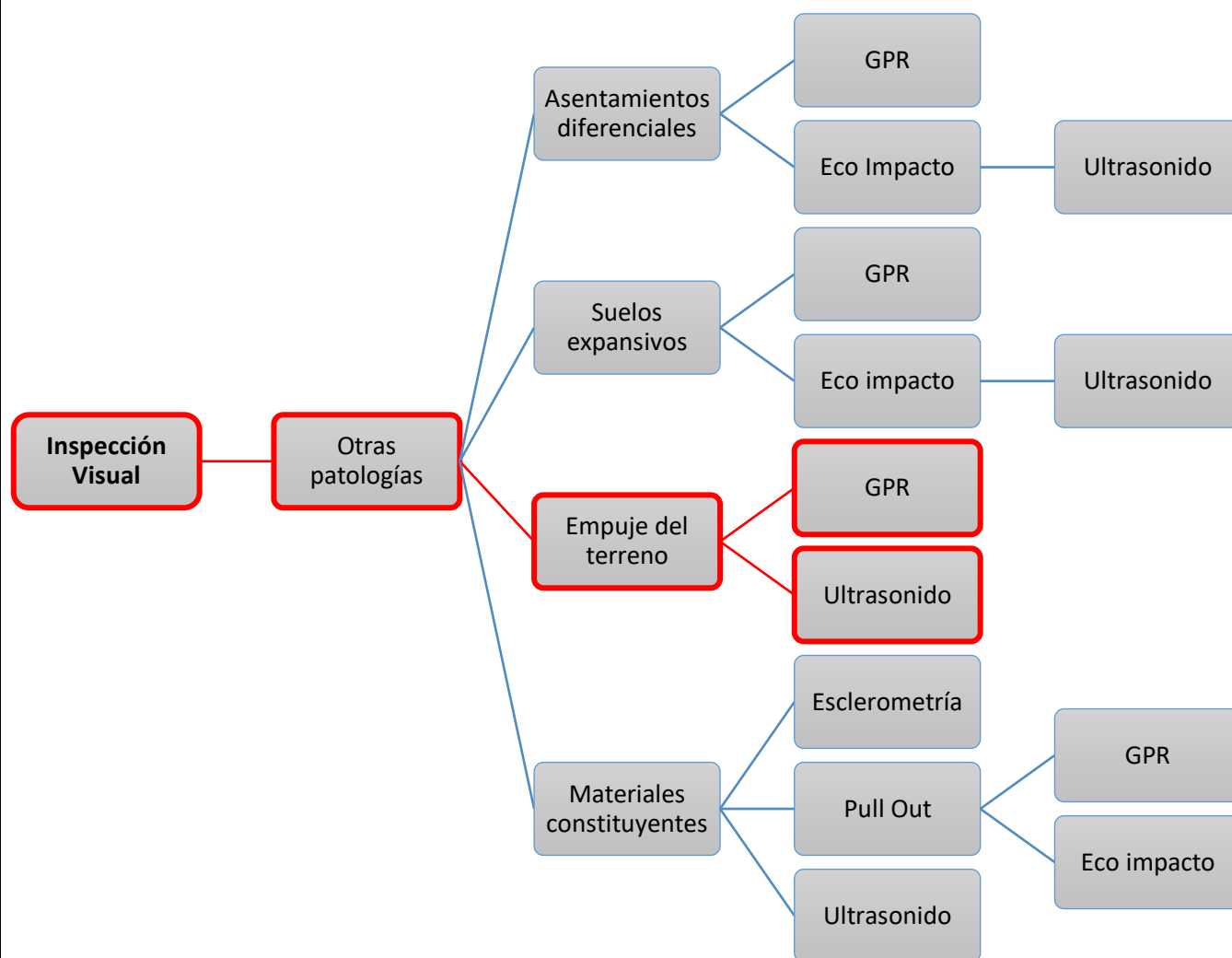


Gráfico 245 Árbol de solución para Empuje de terreno. Fuente: (Autores)

Con los daños encontrados en la inspección (Tabla 38) se sigue el camino indicado en la sección 4.2. El camino a seguir se marca con color rojo en los siguientes gráficos.

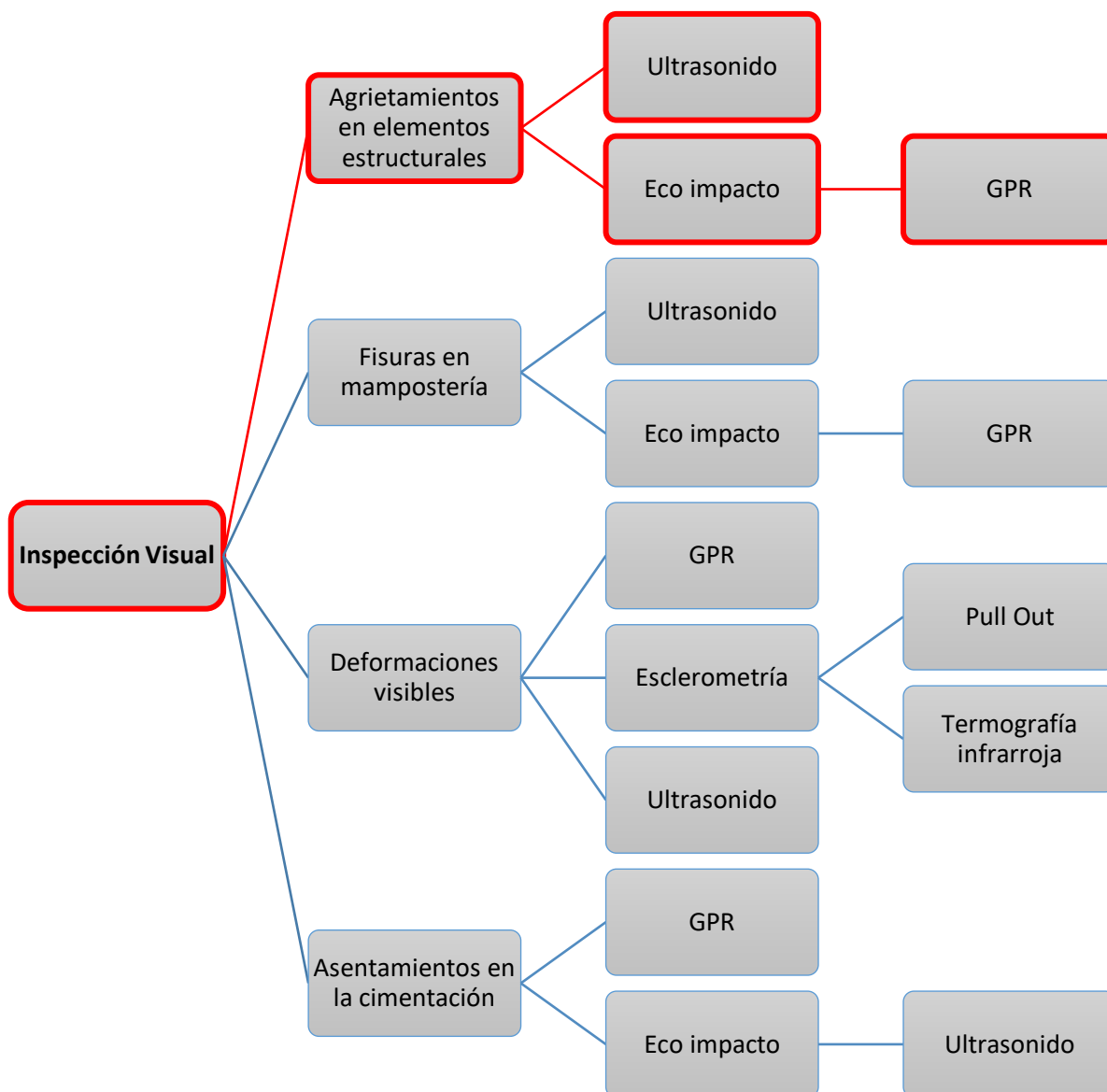


Gráfico 246 Árbol de solución para Agrietamientos en elementos estructurales. Fuente: (Autores)

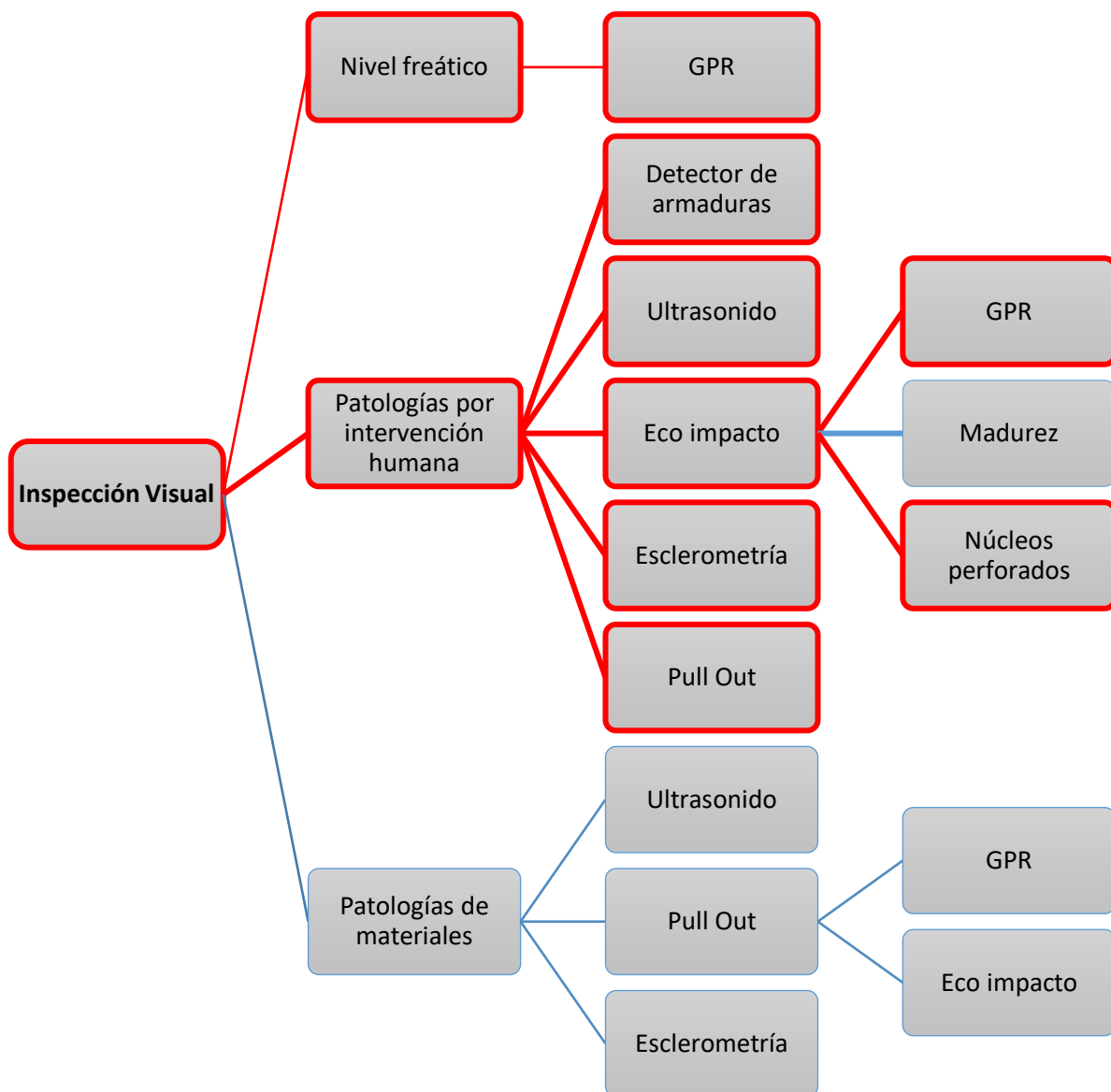


Gráfico 247 Árbol de solución para Nivel freático y Patologías por intervención humana. Fuente: (Autores)

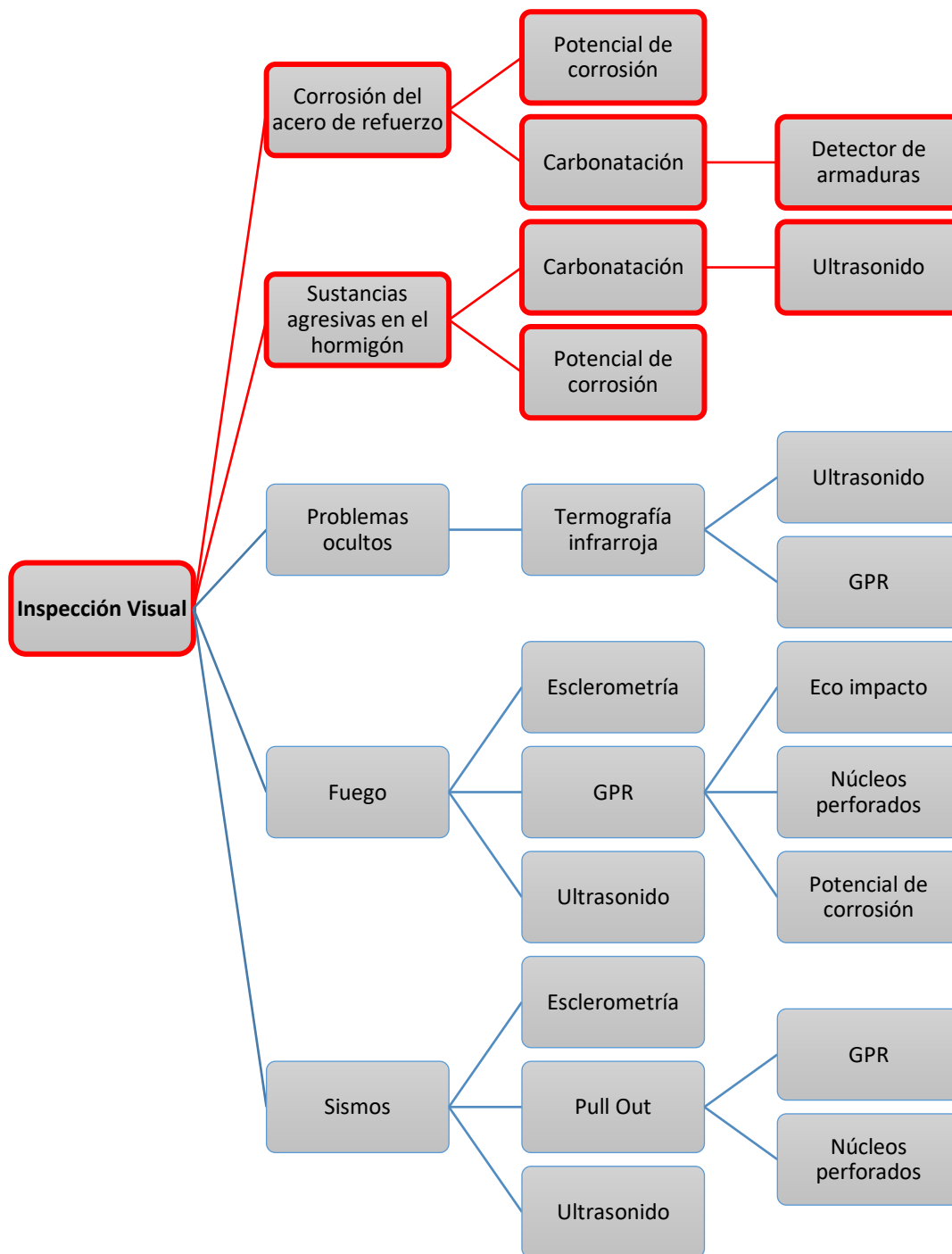


Gráfico 248 Árbol de solución para Corrosión del acero de refuerzo y Sustancias agresivas en el hormigón. Fuente: (Autores)

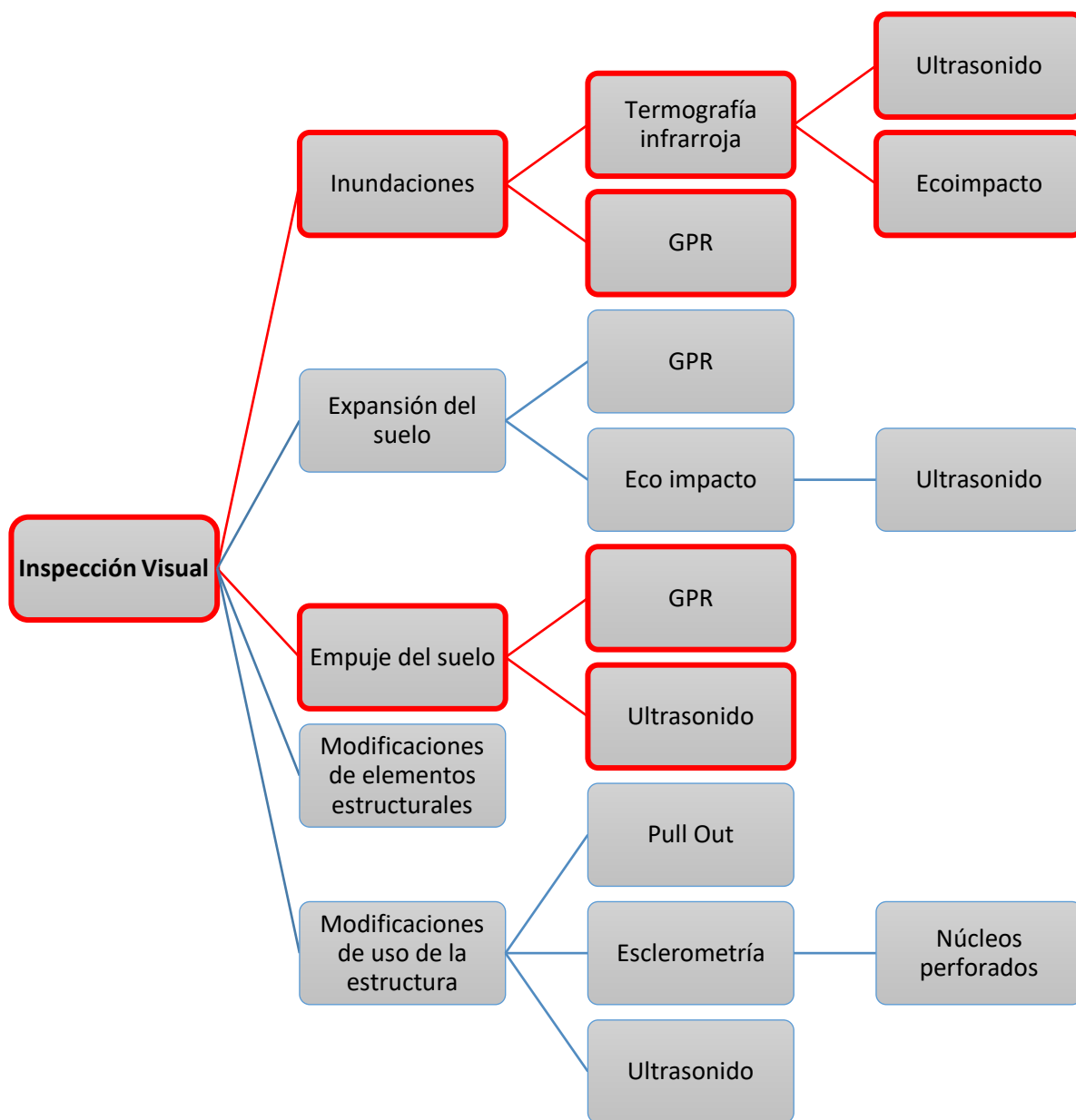


Gráfico 249 Árbol de solución para Inundaciones y Empuje del suelo. Fuente: (Autores)



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Con los árboles obtenidos desde el Gráfico 239 hasta el Gráfico 249, se obtiene la siguiente lista de ensayos.

- GPR
- Ultrasonido
- Eco impacto
- Esclerometría
- Núcleos perforados
- Adherencia
- Potencial de corrosión
- Carbonatación
- Pull Out
- Detector de armaduras
- Termografía infrarroja

De la lista indicada, se debe considerar: la factibilidad, presupuesto, disponibilidad de equipos y la pertinencia de cada ensayo. Para este caso, con las variables indicadas, se opta por los siguientes ensayos.

- Ultrasonido
- Esclerometría
- Núcleos perforados
- Adherencia
- Potencial de corrosión
- Carbonatación

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **382** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA



**UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**



INFORME TÉCNICO

Evaluación y Diagnóstico de los pórticos del Puente Asunción

André Mateo Ortega Palacios

Juan José Vanegas López

Cuenca, octubre de 2006

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **383** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Objetivo

El objetivo del diagnóstico es la obtención de características y condiciones actuales de los materiales constituyentes de los pórticos del puente Asunción (hormigón y acero de refuerzo). Con estos datos se propondrán recomendaciones de intervención (restauración, reconstrucción, reforzamiento, protección, entre otros) apropiadas tomando en cuenta el punto de vista técnico y económico.

Evaluación de la estructura

Alcance

La evaluación se realizó en los cinco pórticos que componen la estructura de soporte del puente Asunción. Esta información servirá como soporte para la evaluación e intervención de la estructura.

Para la evaluación se utilizan ensayos clasificados como: no destructivos, semi-destructivos e in place (in situ); los cuales se realizaron en:

- Pórtico A
- Pórtico B
- Pórtico C
- Pórtico D
- Pórtico E

Ensayos realizados

Los ensayos se realizaron en las partes más afectadas de la estructura, en el margen derecho de los pórticos anteriormente nombrados. La Tabla 39 muestra el tipo de ensayo que se realizó en cada pórtico.

	Pórtico	A	B	C	D	E
Ensayos semi-destructivos	Carbonatación	X	X	X	X	X
	Núcleos perforados	X	X	X	X	X
	Adherencia	X	X	X	X	X
Ensayos no destructivos	Levantamiento de fisuras y Ultrasonido	X	X	X	X	X
	Potencial de corrosión	X	X	X	X	X
Ensayos in place	Esclerometría	X	X	X	X	X

Tabla 39 Tipo de ensayo practicado por elemento. Fuente: (Mogrovejo Carrasco & García, 2006)



Resultados de la evaluación

Ensayo de Carbonatación

En la Tabla 40 se indican los datos obtenidos con el ensayo de carbonatación y las observaciones realizadas. (Para esto se utilizó la plantilla ESD01, Anexo 2: Plantilla ensayo de Carbonatación)

Elemento	Ubicación	Profundidad (mm)		Recubrimiento (mm)	Observaciones
		máx	mín		
Pórtico A	superior aguas abajo	24	14	50	Carbonatación alcanza 48% del espesor del recubrimiento
Pórtico B	superior aguas abajo	24	16	50	Carbonatación alcanza 48% del espesor del recubrimiento
Pórtico C	superior aguas abajo	27	17	50	Carbonatación alcanza 54% del espesor del recubrimiento
Pórtico D	superior aguas abajo	24	14	50	Carbonatación alcanza 48% del espesor del recubrimiento
Pórtico E	superior aguas abajo	22	15	50	Carbonatación alcanza 44% del espesor del recubrimiento
Pórtico A	inferior aguas abajo	2	1	50	Carbonatación alcanza 4% del espesor del recubrimiento
Pórtico B	inferior aguas abajo	1,5	1	50	Carbonatación alcanza 3% del espesor del recubrimiento
Pórtico C	inferior aguas abajo	1	0	50	Carbonatación alcanza 2% del espesor del recubrimiento
Pórtico D	inferior aguas abajo	1	0	50	Carbonatación alcanza 2% del espesor del recubrimiento
Pórtico E	inferior aguas abajo	1,5	1	50	Carbonatación alcanza 3% del espesor del recubrimiento

Tabla 40 Resultados del ensayo de Carbonatación, obtenidos de (Mogrovejo Carrasco & García, 2006)



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Ensayo de Esclerometría

La Tabla 41 indica los valores obtenidos al realizar el ensayo de esclerometría. (Plantilla EIP01, Anexo 3: Plantilla ensayo de Esclerometría)

Elemento	Ubicación	Orientación	Lecturas					Q Prom	Desv Est	Resistencia (Kg/cm ²)
Pórtico A	Centro, aguas abajo	Horizontal	41	43	44	40	42	42,3	1,42	390
			44	44	42	42	41			
Pórtico B	Centro, aguas abajo	Horizontal	42	40	44	41	44	42,1	1,79	380
			42	40	44	40	44			
Pórtico C	Centro, aguas abajo	Horizontal	42	48	46	44	42	45	2,16	430
			44	46	48	44	46			
Pórtico D	Centro, aguas abajo	Horizontal	38	41	40	41	38	39,6	1,26	335
			40	41	39	40	38			
Pórtico E	Centro, aguas abajo	Horizontal	45	40	42	40	42	41,8	1,93	380
			44	40	40	44	41			

Tabla 41 Resultados del ensayo de Esclerometría, obtenidos de (Mogrovejo Carrasco & García, 2006)

Ensayo de Núcleos perforados

La Tabla 42 indica los valores obtenidos con el ensayo de núcleos perforados. (Plantilla ESD03, Anexo 4: Plantilla ensayo de Núcleos perforados)

Elemento	Ubicación	Altura (cm)	Diámetro (cm)	L/D	Área (cm ²)	Carga rotura (KN)	Resistencia (Kg/cm ²)	Factor de corrección	Resistencia corregida (Kg/cm ²)
Pórtico A	Centro, aguas abajo	11,38	5,96	1,91	27,9	106,5	389,3	1	389,3
Pórtico B	Centro, aguas abajo	11,61	5,96	1,95	27,9	87	318	1	318
Pórtico C	Centro, aguas abajo	11,5	5,96	1,93	27,9	81,68	298,5	1	298,5
Pórtico D	Centro, aguas abajo	11,96	5,96	2,01	27,9	44,67	163,3	1	163,3
Pórtico E	Centro, aguas abajo	10,21	5,96	1,71	27,9	73,65	269,2	1	269,2

Tabla 42 Resultados del ensayo de Núcleos perforados, obtenidos de (Mogrovejo Carrasco & García, 2006)

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página 386 de 473



UNIVERSIDAD DE CUENCA

La resistencia a compresión se puede asociar y corregir relacionando los resultados de Esclerometría con los resultados del ensayo de Núcleos perforados. La Tabla 43 indica el valor de resistencia corregido para cada elemento estructural.

Elemento	IE	Re (Kg/cm ²)	Rcp (Kg/cm ²)	ki	Rac (Kg/cm ²)
Pórtico A	42,3	390	389,3	1,00	390
Pórtico B	42,1	380	318	0,84	319,2
Pórtico C	45	430	298,5	0,69	296,7
Pórtico D	39,6	335	163,3	0,49	164,15
Pórtico E	41,8	380	269,2	0,71	269,8

Tabla 43 Resistencia a compresión corregida, con los datos obtenidos de (Mogrovejo Carrasco & García, 2006)

Donde:

IE: Índice Esclerométrico.

Re: Resistencia a compresión asociada con el índice esclerométrico sin corregir.

Rcp: Resistencia a compresión probeta testigo o núcleo.

$ki = Rcp/Re$

Rac: Resistencia a compresión asociada con el índice esclerométrico corregida.

Ensayo de Adherencia

Los resultados del ensayo se indican en la Tabla 44. (Plantilla ESD02, Anexo 5: Plantilla ensayo de Adherencia)

La adherencia del hormigón indica la resistencia a tensión que tienen los elementos de hormigón, es decir, el esfuerzo último de rotura ya sea del recubrimiento o del hormigón mismo.

Elemento	Recubrimiento (cm)	Resistencia (Mpa)	Tipo de Falla
Pórtico A	5	1,51	95% mortero, 5% epóxico
Pórtico B	5	2,46	95% mortero, 5% epóxico
Pórtico C	5	2,15	70% mortero, 30% epóxico
Pórtico D	5	1,24	90% mortero, 10% epóxico
Pórtico E	5	2,51	100% mortero

Tabla 44 Resultados del ensayo de Adherencia, obtenidos de (Mogrovejo Carrasco & García, 2006)

Levantamiento de fisuras

Es importante conocer el volumen de fisuras en cada elemento estructural, para esto se deben tomar las dimensiones de las fisuras que se pueden apreciar en las caras superior e inferior de los pórticos. Aunque las fisuras no puedan causar un colapso estructural, deben ser tratadas a tiempo para evitar mayores inconvenientes.

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página 387 de 473



UNIVERSIDAD DE CUENCA

El esquema típico de fallo de los pórticos se indica en el Gráfico 250 y los datos obtenidos se muestran en la Tabla 45.

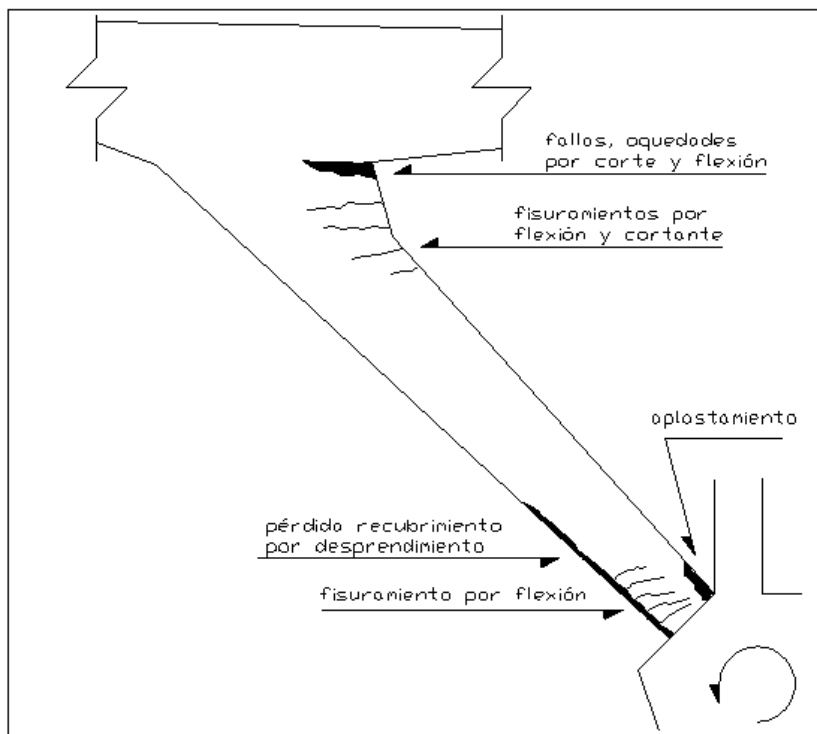


Gráfico 250 Fisuración típica en los pórticos de análisis. Fuente: (Mogrovejo Carrasco & García, 2006)

Elemento o soporte	Ubicación Fisura principal	Calado de la fisura (cm)	Longitud de la fisura (m)	Ancho izq. de la fisura (mm)	Ancho medio de la fisura (mm)	Ancho der. de la fisura (mm)	Ancho de la fisura (mm)	Volumen aprox. de fisuras. (cm³)
Pórtico A	nudo	50	0,9	0,50	0,81	1,50	0,94	421,50
	ag. arrib. sup	50	1,5	0,10	0,54	0,81	0,48	362,50
	ag. arrib. sup	8	1,1	0,50	0,66	0,81	0,66	57,79
	ag. arrib. sup	50	1,25	0,60	0,76	0,81	0,72	452,08
	ag. arrib. sup	15	1,6	1,34	0,35	0,67	0,79	188,80
	ag. arrib. sup	50	2,1	0,70	1,10	2,50	1,43	1505,00
	ag. arrib. inf	35	1,1	0,36	0,40	0,50	0,42	161,70
	ag. arrib. inf	35	0,6	0,51	0,52	0,40	0,48	100,10
	ag. arrib. inf	40	0,6	0,66	1,80	0,71	1,06	253,60

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página 388 de 473



UNIVERSIDAD DE CUENCA

		ag. arrib. inf	35	0,8	0,81	0,40	0,30	0,50	140,93	
		ag. abaj. sup	30	1,1	0,81	0,71	0,66	0,73	239,80	
		ag. abaj. sup	26	0,55	0,71	1,81	0,66	1,06	151,58	
		ag. abaj. inf	50	0,9	0,56	0,66	0,66	0,63	282,00	
		ag. abaj. inf	50	1,1	2,00	2,10	2,45	2,18	1200,83	
		ag. abaj. inf	50	1,5	0,40	0,81	0,81	0,67	505,00	
		ag. abaj. inf	45	1,6	0,71	0,81	0,71	0,74	535,20	
		ag. abaj. inf	35	0,9	0,30	0,55	0,56	0,47	148,05	
		Volumen						Pórtico A	6706	
	Pórtico B	nudo	50	1	0,81	1,67	3,00	1,83	913,33	
		ag. arrib. sup	30	0,58	0,45	0,55	0,31	0,44	75,98	
		ag. arrib. sup	50	0,45	3,00	1,00	2,40	2,13	480,00	
		ag. arrib. sup	50	1,3	0,76	0,66	0,71	0,71	461,50	
		ag. arrib. sup	50	1,1	0,50	0,60	0,76	0,62	341,00	
		ag. arrib. sup	40	1,6	0,40	0,45	0,66	0,50	322,13	
		ag. arrib. sup	50	0,95	0,71	0,81	0,81	0,78	368,92	
		ag. arrib. sup	50	0,9	0,30	0,60	0,81	0,57	256,50	
		ag. arrib. sup	50	0,9	0,31	0,66	0,71	0,56	252,00	
		ag. arrib. inf	35	0,4	2,24	2,81	2,81	2,62	366,80	
		ag. arrib. inf	40	0,5	1,00	1,02	1,81	1,28	255,33	
		ag. arrib. inf	40	0,45	1,00	1,95	1,00	1,32	237,00	
		ag. arrib. inf	20	0,3	1,87	1,95	1,67	1,83	109,80	
		ag. arrib. inf	15	0,2	2,56	3,43	2,81	2,93	88,00	
		ag. abaj. sup	30	1,3	0,55	0,57	0,81	0,64	250,90	
		ag. abaj. sup	30	0,56	0,45	0,40	0,56	0,47	78,96	

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **389** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

		ag. abaj. sup	10	0,12	0,23	0,45	0,45	0,38	4,52	
		ag. abaj. inf	35	0,2	1,01	2,31	2,67	2,00	139,77	
		ag. abaj. inf	50	0,3	0,81	1,01	1,24	1,02	153,00	
		ag. abaj. inf	50	0,2	1,24	1,95	1,98	1,72	172,33	
		ag. abaj. inf	50	0,4	3,00	3,93	3,90	3,61	722,00	
		ag. abaj. inf	35	0,4	2,67	2,81	3,00	2,83	395,73	
		ag. abaj. inf	30	0,2	1,03	1,02	1,24	1,10	65,80	
		ag. abaj. inf	30	0,4	1,81	1,95	1,81	1,86	222,80	
		ag. abaj. inf	50	0,35	1,81	1,87	2,00	1,89	331,33	
		ag. abaj. inf	35	0,4	1,80	1,00	2,00	1,60	224,00	
							Volumen	Pórtico B	7289	
	Pórtico C	nudo	50	1	0,50	1,00	5,00	2,17	1083,33	
		ag. arrib. sup	20	0,3	0,45	0,66	0,81	0,64	38,40	
		ag. arrib. sup	15	1,1	0,56	0,66	0,81	0,68	111,65	
		ag. arrib. sup	10	1,05	0,45	0,60	0,66	0,57	59,85	
		ag. arrib. sup	20	1,3	0,55	0,66	0,45	0,55	143,87	
		ag. arrib. sup	20	1,4	0,35	0,61	0,76	0,57	160,53	
		ag. arrib. inf	35	0,4	1,00	2,32	1,56	1,63	227,73	
		ag. arrib. inf	50	0,35	0,81	1,00	0,81	0,87	152,83	
		ag. arrib. inf	30	0,4	0,78	1,94	1,00	1,24	148,80	
		ag. arrib. inf	30	0,2	2,45	3,90	1,00	2,45	147,00	
		ag. arrib. inf	35	0,4	2,67	2,81	3,55	3,01	421,40	
		ag. abaj. sup	45	0,7	0,35	0,50	0,60	0,48	152,25	
		ag. abaj. sup	30	1,3	0,30	0,44	0,45	0,40	154,70	
		ag. abaj. sup	10	0,7	0,30	0,44	0,33	0,36	24,97	

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **390** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

		ag. abaj. sup	10	1,1	0,45	0,66	0,78	0,63	69,30	
		ag. abaj. sup	20	1,3	0,45	0,56	1,00	0,67	174,20	
		ag. abaj. inf	10	0,8	0,81	1,00	1,78	1,20	95,73	
		ag. abaj. inf	50	0,2	1,95	1,97	2,00	1,97	197,33	
		ag. abaj. inf	50	0,1	1,98	2,00	2,00	1,99	99,67	
		ag. abaj. inf	50	0,4	0,91	1,98	2,01	1,63	326,67	
		ag. abaj. inf	50	0,2	1,78	2,01	2,67	2,15	215,33	
		ag. abaj. inf	50	0,45	2,00	2,98	3,70	2,89	651,00	
		ag. abaj. inf	50	0,15	2,96	3,01	3,80	3,26	244,25	
		Volumen						Pórtico C	5101	
		nudo	50	1,15	5,00	8,00	9,00	7,33	4216,67	
		ag. arrrib. sup	20	1,5	0,71	1,00	0,58	0,76	229,00	
		ag. arrrib. sup	50	1,2	0,46	0,56	0,80	0,61	363,16	
		ag. arrrib. sup	50	0,8	0,45	0,51	0,58	0,51	205,33	
		ag. arrrib. sup	50	1,15	0,45	0,66	0,58	0,56	323,92	
		ag. arrrib. sup	40	0,7	0,66	0,71	0,81	0,73	203,47	
		ag. arrrib. sup	50	0,6	0,34	0,45	0,51	0,43	130,00	
		ag. arrrib. sup	13	0,2	0,24	0,36	0,45	0,35	9,10	
		ag. arrrib. inf	20	0,7	2,00	2,54	1,67	2,07	289,80	
		ag. abaj. sup	10	0,16	0,45	0,60	0,81	0,62	9,92	
		ag. abaj. sup	8	0,8	0,36	0,40	0,51	0,42	27,09	
		ag. abaj. inf	30	1,2	0,81	1,00	1,45	1,09	391,20	
		ag. abaj. inf	20	0,65	2,56	3,00	3,56	3,04	395,20	
		ag. abaj. inf	50	0,4	5,00	5,00	5,00	5,00	1000,00	
		ag. abaj. inf	50	0,3	4,00	5,00	5,00	4,67	700,00	
	Pórtico D									

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **391** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

	ag. abaj. inf	50	0,5	2,54	3,00	3,01	2,85	712,50
Volumen							Pórtico D	9206
Pórtico E	nudo	40	1,5	3,00	5,00	6,00	4,67	2800,00
	nudo	50	0,4	3,00	1,60	0,81	1,80	360,67
	ag. arrib. sup	50	1	0,30	0,15	0,45	0,30	150,00
	ag. arrib. sup	50	1,3	0,34	0,44	0,56	0,45	290,33
	ag. arrib. sup	30	0,7	0,34	0,23	0,45	0,34	71,40
	ag. arrib. sup	7	0,3	0,23	0,28	0,36	0,29	6,09
	ag. arrib. inf	10	0,3	0,56	0,81	1,00	0,79	23,70
	ag. abaj. sup	3	0,9	0,45	0,56	0,56	0,52	14,13
	ag. abaj. sup	10	0,6	0,23	0,34	0,45	0,34	20,40
	ag. abaj. inf	50	1	2,00	3,00	3,80	2,93	1466,67
	ag. abaj. inf	50	0,3	1,80	2,81	3,00	2,54	380,50
	ag. abaj. inf	50	0,8	3,00	3,50	3,00	3,17	1266,67
	ag. abaj. inf	50	0,4	4,10	5,01	6,20	5,10	1020,67
	Volumen							Pórtico E
Promedio de volumen de fisuras principales por Pórtico								7235
Volumen total de fisuras principales								36174

Tabla 45 Resultados del levantamiento de fisuras, obtenidos de (Mogrovejo Carrasco & García, 2006)

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **392** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Ensayo de Ultrasonido

En los casos en que no se puede medir la profundidad de las fisuras, se utiliza el ensayo de Ultrasonido. Los resultados del ensayo se indica en la Tabla 46. (Plantilla END06, Anexo 6: Plantilla ensayo de Ultrasonido)

Elemento	Ubicación	Tiempo ri (μ s)	Distancia (cm)	Tiempo rc (μ s)	Profundidad fisura (cm)
Pórtico A	Aguas arriba, sup	77	20	83	8
Pórtico A	Aguas arriba, sup	78,7	20	98,4	15
Pórtico A	Aguas arriba, inf	76	20	153,1	35
Pórtico A	Aguas abajo, sup	73	20	87,2	13
Pórtico B	Aguas arriba, sup	79	20	143,8	30
Pórtico B	Aguas arriba, inf	63,1	20	89,3	20
Pórtico B	Aguas arriba, inf	78,4	20	98,6	15
Pórtico C	Aguas arriba, sup	98,2	20	109	10
Pórtico C	Aguas arriba, inf	88,9	20	177,3	35
Pórtico D	Aguas abajo, sup	210,2	20	233,4	10
Pórtico E	Aguas arriba, sup	53,5	20	60	10
Pórtico E	Aguas abajo, sup	33,4	20	33,9	3

Tabla 46 Resultados del ensayo de Ultrasonido, obtenidos de (Mogrovejo Carrasco & García, 2006)

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página 393 de 473



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Levantamiento de oquedades

En la siguiente tabla se indican los resultados del levantamiento de oquedades, desprendimientos y cavidades; con el propósito de obtener el volumen aproximado en cada pórtico.

Pórtico	Ubicación oquedad principal	Profundidad	Largo	Ancho inicial	Ancho central	Ancho final	Ancho medio	Volumen aprox. de la oquedad
		(cm)	(m)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(cm³)
A	Oquedad en nudo	50	0,25	30	40	10	26,67	3333
A	Pérdida secc. recubr.	50	1,7	65	60	60	61,67	52417
B	Oquedad en nudo	50	0,3	10	10	8	9,33	1400
C	Oquedad en nudo	50	0,5	50	35	45	43,33	10833
D	Oquedad en nudo	50	0,45	60	55	35	50	11250
E	Oquedad en nudo	50	0,75	90	40	20	50	18750

Tabla 47 Resultados del levantamiento de oquedades, obtenidos de (Mogrovejo Carrasco & García, 2006)

Ensayo de Potencial de corrosión

En la siguiente tabla se muestra la probabilidad de corrosión que tiene el acero de refuerzo con respecto al voltaje obtenido en el voltímetro en el ensayo de potencial de corrosión.

Ecor (V) vs ESC	Probabilidad de corrosión
> -0.2	10% que se presente
-0.2 a -0.35	Zona incierta
< -0.35	90% que se presente

Tabla 48 Criterio de probabilidad de corrosión según ASTM, ensayo de potencial de media celda. Fuente: (ASTM C876, 2015)

En la Tabla 49 se muestran los resultados de los ensayos en los pórticos.

Vigencia desde:	Página 394 de 473
Marzo-2021	



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Elemento	Lectura (V)	Probabilidad corrosión	Condición
Pórtico A	-0,076	10%	Pasiva
	-0,137	10%	Pasiva
	-0,211	Incierto	Pasiva
	-0,236	Incierto	Incierto
	-0,338	Incierto	Activa
	-0,355	90%	Activa
	-0,380	90%	Activa
	-0,480	90%	Activa
Pórtico B	-0,133	10%	Pasiva
	-0,183	10%	Pasiva
	-0,270	Incierto	Incierto
	-0,327	Incierto	Activa
	-0,377	90%	Activa
	-0,389	90%	Activa
Pórtico C	-0,110	10%	Pasiva
	-0,282	Incierto	Activa
	-0,336	Incierto	Activa
	-0,364	90%	Activa
	-0,377	90%	Activa
Pórtico D	-0,256	Incierto	Incierto
	-0,311	Incierto	Activa
	-0,328	Incierto	Activa
	-0,319	Incierto	Activa
	-0,371	90%	Activa
Pórtico E	-0,249	Incierto	Incierto
	-0,293	Incierto	Activa
	-0,300	Incierto	Activa
	-0,351	90%	Activa
	-0,415	90%	Activa

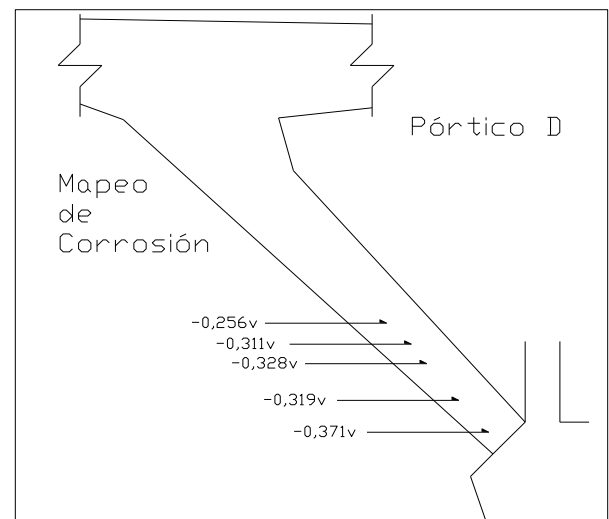
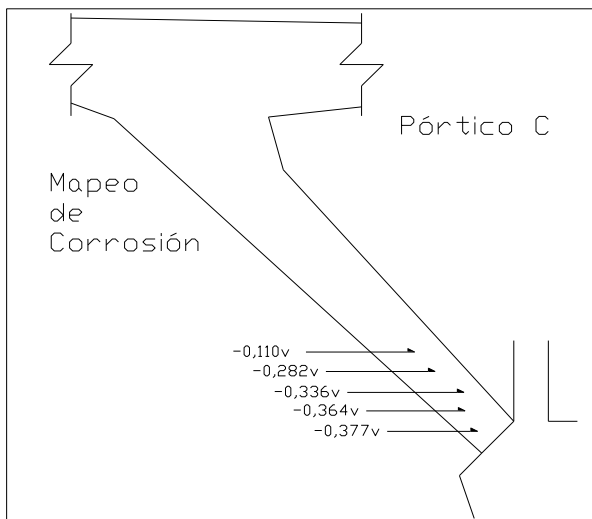
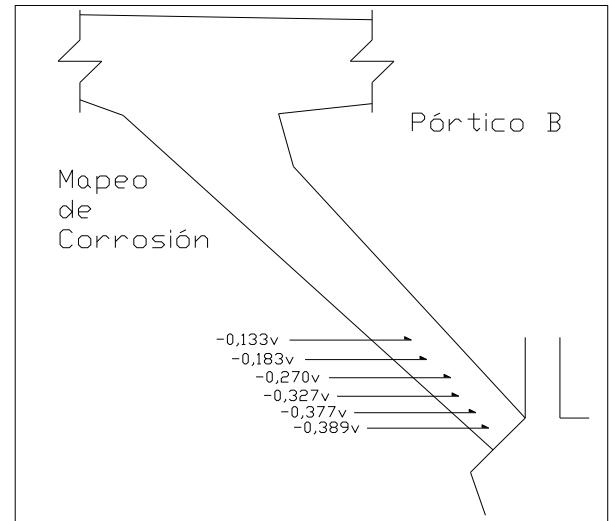
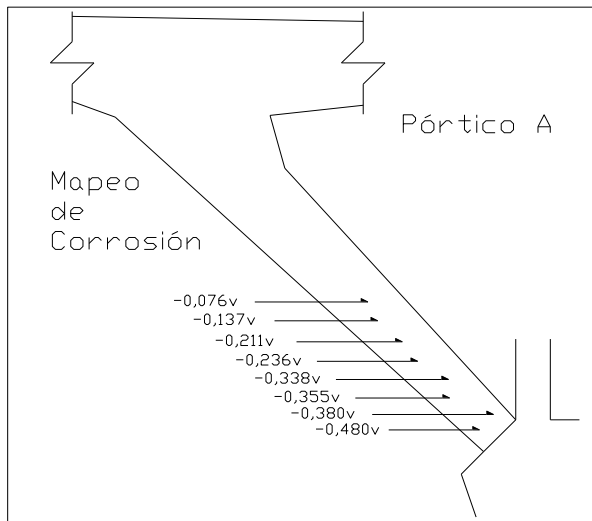
Tabla 49 Resultados del ensayo de Ultrasonido, obtenidos de (Mogrovejo Carrasco & García, 2006)

La ubicación de los ensayos de probabilidad de corrosión se indica en los siguientes esquemas.

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **395** de **473**



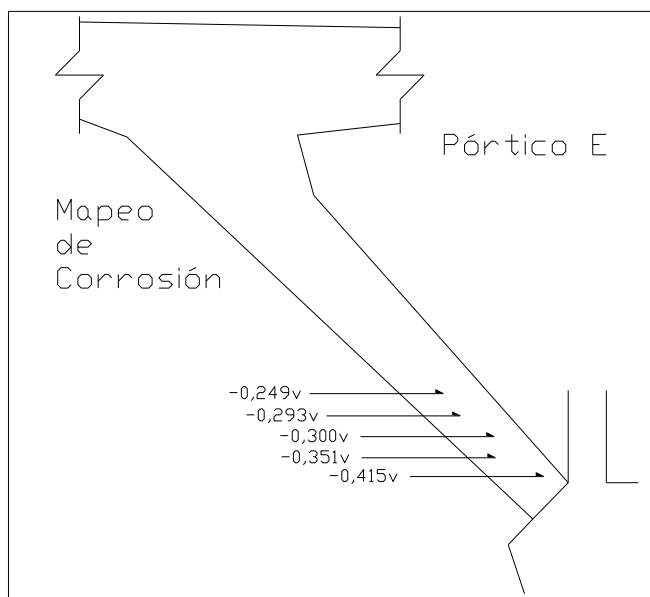


Gráfico 251 Esquemas de los mapeos de corrosión para cada pórtico. Fuente: (Mogrovejo Carrasco & García, 2006)

Análisis de resultados

Ensayo de Carbonatación

Los resultados de la Tabla 40 indican que la carbonatación más alta (54%) se encuentra en la parte superior del pórtico, al igual que las carbonataciones del 48%; esto se debe a la exposición de las partes superiores al CO₂ producido por el tráfico vehicular.

En las partes inferiores la carbonatación tiene un porcentaje menor al 5%, debido a que son partes donde el pH es mínimo por el contacto con el suelo. Sin embargo, no se debe descartar la corrosión porque en las partes inferiores de los pórticos existe mucha humedad (como se muestra en los resultados del ensayo de potencial de corrosión).

Con el ensayo de carbonatación se puede estimar la vida útil de los pórticos en estudio, teniendo en cuenta el tiempo en que la carbonatación alcanzará el acero de refuerzo. El recubrimiento de los pórticos es de 50 mm y el tiempo actual de vida de la estructura es de 10 años. (Los cálculos se realizaron con las ecuaciones de la sección 3.8.7.2)



UNIVERSIDAD DE CUENCA

t (años)	10			
Recubrimiento	50			
Elemento	Carbonatación (mm)	KCO2 (mm/año ^{0.5})	t (años)	Vida remanente (años)
Pórtico A	24	7,589	43	33
Pórtico B	24	7,589	43	33
Pórtico C	27	8,538	34	24
Pórtico D	24	7,589	43	33
Pórtico E	22	6,957	52	42

Tabla 50 Vida remanente de los pórticos. Fuente: (Autores)

El Gráfico 252 indica la profundidad de carbonatación a lo largo de los años en cada pórtico. La línea roja indica el límite de la vida útil, debido a que la carbonatación alcanzaría el acero de refuerzo.

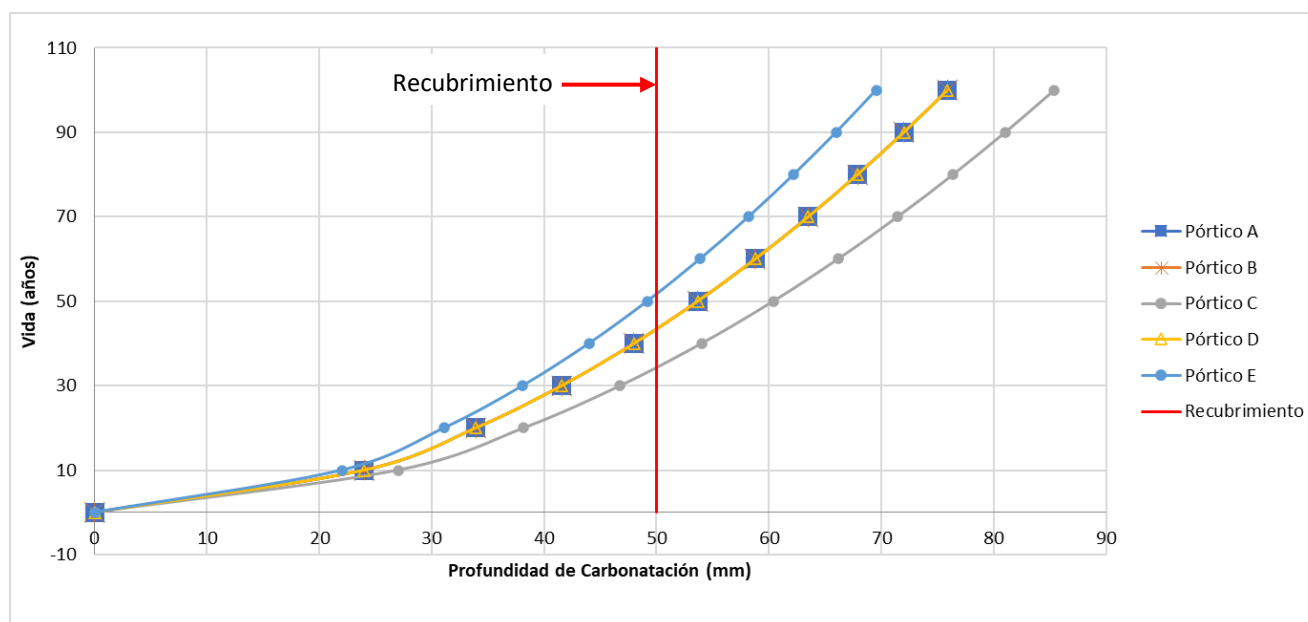


Gráfico 252 Profundidad de carbonatación a lo largo de los años. Fuente: (Autores)

La vida remanente del pórtico más afectado es de 24 años, es decir, llegaría a tener una vida útil de 34 años. Un puente de longitud mayor a 10 metros debería tener una vida útil de 100 años, por lo tanto, la estructura en estudio no cumple con la vida útil esperada.

Ensayo de Esclerometría y Núcleos perforados

Tomando como referencia los datos obtenidos en la Tabla 43, se puede observar que el elemento estructural con menor resistencia es el Pórtico D, con una diferencia considerable en comparación con los otros pórticos. Sin embargo, las resistencias a compresión de los elementos son suficientes para soportar intervenciones. Al tener una resistencia alta el colapso estructural total no es un problema, pero se deben considerar intervenciones que ayuden a mejorar el estado actual de los pórticos.

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página 398 de 473



Ensayo de Adherencia

Según el ACI 440.2R, el esfuerzo mínimo que debe presentar un sustrato para que pueda ser intervenido para reparaciones es de $1,4 \text{ N/mm}^2$. Comparando el valor indicado por la norma con los valores obtenidos en la Tabla 44 se encuentra que, a diferencia del resto de pórticos, el Pórtico D tiene un esfuerzo menor.

Al no tener una diferencia considerable de esfuerzos, la intervención en el Pórtico D depende del método de reparación que se proponga.

Levantamiento de fisuras y Ensayo de Ultrasonido

Un parámetro importante son los anchos de las fisuras, debido a que esto determina la intervención que se debe realizar. Las inyecciones varían para fisuras menores o mayores de 2mm.

Los volúmenes de fisuras que se muestran en la Tabla 45 superan los 5000 cm^3 en cada pórtico, es un volumen considerable y debe ser tratado. Se debe tener una consideración especial al pórtico D, debido a que tiene un volumen de fisuras bastante mayor al resto de elementos estudiados.

Las profundidades de fisuras, estimadas con el ensayo de Ultrasonido (Tabla 46), tienen un tamaño considerable. Como el resto de fisuras deben ser intervenidas.

Levantamiento de oquedades

Las oquedades son otros fallos que deben ser intervenidos para mejorar el estado actual de la estructura en estudio. El volumen aproximado de oquedades, mostrado en la Tabla 47, son grandes y deben ser tomado con principal atención el volumen de pérdida de sección de recubrimiento en el Pórtico A y las oquedades existentes en el nudo del Pórtico E.

Ensayo de Potencial de corrosión

Teniendo en cuenta el Gráfico 251 y la Tabla 48 se puede observar que la corrosión del acero de refuerzo aumentó a medida que se aproxima al suelo, mientras más cerca esté de la humedad.

El mayor porcentaje de ensayos de corrosión realizados dan un resultado de probabilidad de corrosión de 90%; esto combinado con los resultados de carbonatación, indica que es importante una intervención para la protección del acero de refuerzo.

Recomendaciones de rehabilitación

Es necesario la intervención de un ingeniero consultor estructural con experiencia en rehabilitación y reforzamiento estructural de puentes para obtener propuestas para una rehabilitación técnica de la estructura. El ingeniero estructural debe tener experiencia en el uso de materiales compuestos.

Además del ingeniero estructural, se necesita un especialista en materiales de reparación. Este profesional brindará información sobre los materiales de rehabilitación para las fisuras, oquedades, desprendimientos, corrosión, carbonatación, entre otros.

La Tabla 51 muestra un resumen de los problemas de la estructura con los materiales de rehabilitación.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Problema	Recomendaciones	Productos recomendados	Resultados
Carbonatación en partes superiores del puente	Tratamiento con inhibidores de corrosión a base de aminas orgánicas e inorgánicas y no agresivas para el ambiente.	<ul style="list-style-type: none">Inhibidor de corrosión tipo impregnación para hormigones endurecidos. Y para impregnación directa. Que sea eficaz tanto en laboratorio (ASTM G109 / Cracked Beams) como en campo. Y que sea Adecuado para el método 11.3 (aplicar inhibidor al hormigón) definido por EN 1504-9 para el Principio 11 (control anódico).	Evitar agentes corrosivos como el CO ₂ en la armadura, tanto para el acero que ha quedado visible, como para el que aún tiene recubrimiento.
Resistencia a compresión baja, en especial en pórtico D	<ul style="list-style-type: none">Recuperación de secciones.Reforzamiento a base de un encamisado cobertor que tenga un anclaje en la base para formar una sección monolítica estructural.	<ul style="list-style-type: none">Pletinas de fibra de Carbono. Para zonas con esfuerzos por flexión. Que cumpla con la norma EN 1504.Sistema de reforzamiento con platinas CFRP de alto desempeño. Que cumpla con la norma EN 1504.Resina de impregnación de alta resistencia y alto módulo. Que sea aprobado por ICBO/ICC (ER 5558) y que cumpla la norma ASTM C 881.Tejidos en fibra de carbono para reforzamiento estructural. Para zonas con esfuerzos de corte y torsión. Que cumpla los requisitos de la norma ACI 440.2R.Morteros cementicios de altas prestaciones para secciones > 5mm. De preferencia que tenga certificado de acuerdo a EN 1504 partes 2 y 3. Y que cumpla con Norma ASTM C 881.	Grietas estructurales reparadas y rellenadas. Sistema estructural rehabilitado.

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **400** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Problema	Recomendaciones	Productos recomendados	Resultados
Esfuerzo a tensión bajo, pero no crítico (Ensayo de adherencia)	Pruebas puntuales de adherencia en el momento de la reparación. En el caso que el sustrato no cumpla con la adherencia, usar los productos recomendados de reparación.	<ul style="list-style-type: none"> Adhesivo epóxico de hormigón fresco ha endurecido, imprimante de alta adherencia. Que cumpla con la norma ASTM C-881 Tipo II, grado 2, clase B y C y la especificación AASHTO M-235. Adhesivo epóxico de hormigón fresco ha endurecido, que sirve como puente de adherencia. Que cumpla con las especificaciones de la norma ASTM C881. Tipo II, Grado 2. 	Posibilidad de realizar reparaciones y encamisados sin provocar desprendimientos del hormigón.
Fisuras	<ul style="list-style-type: none"> Se deben tratar a base de morteros de inyección con la ayuda de mejoradores de adherencia. Para anchos de fisuras > 2 mm, se recomienda inyecciones de reparación a presión. Para anchos de fisuras < 2 mm, inyección por gravedad. 	<ul style="list-style-type: none"> Sistema epóxico para inyección de grietas estructurales. Que cumpla con las especificaciones de la norma ASTM C-881 y AASHTO-235, Tipo 1, Grado 1, Clase B y C. Mortero de reparación del hormigón. Mortero para reparación y rellenos. Que cumpla con los requerimientos de la clase R4 de la UNE-EN 1504-3. Adhesivo epóxico para pega de elementos estructurales. Que cumpla la Norma ASTM C 881. Tipo 1, GRADO 3, CLASE B y C. Mortero epoxi-cemento de afinado. De acuerdo con EN 1504-2:2004, EN 1504-3: 2005. 	Fisuras y grietas estructurales reparadas y rellenadas.

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **401** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Problema	Recomendaciones	Productos recomendados	Resultados
Oquedades	Tratamiento a base de morteros epóxicos para grietas estructurales, con ayuda de mejoradores de adherencia.	<ul style="list-style-type: none">Adhesivo epóxico de hormigón fresco ha endurecido, imprimante de alta adherencia. Que cumpla con la norma ASTM C-881 Tipo II, grado 2, clase B y C y la especificación AASHTO M-235.Adhesivo epóxico de hormigón fresco ha endurecido, sirve como puente de adherencia. Que cumpla con las especificaciones de la norma ASTM C881. Tipo II, Grado 2.Sistema epóxico para inyección de grietas estructurales. Que cumpla con las especificaciones de la norma ASTM C-881 y AASHTO-235, Tipo 1, Grado 1, Clase B y C.Mortero de reparación del hormigón.Mortero para reparación y rellenos. Que cumpla con los requerimientos de la clase R4 de la UNE-EN 1504-3.	Garantía de sellado de grietas y oquedades.

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **402** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Problema	Recomendaciones	Productos recomendados	Resultados
Corrosión	<ul style="list-style-type: none"> • Limpieza con hidro-lavado de los pórticos para quitar material suelto y material biológico. • Limpieza del óxido del acero. • Inhibir la corrosión en el acero de refuerzo desprotegido y en el que tiene recubrimiento. • Curar fisuras con morteros de inyección. <p>Impermeabilizar el hormigón.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Inhibidor de corrosión tipo impregnación para hormigones endurecidos y para impregnación directa. Adecuado para el método 11.3 (aplicar inhibidor al hormigón) definido por EN 1504-9 para el Principio 11 (control anódico). • Recubrimiento anticorrosivo para proteger el acero de refuerzo. • Removedor de óxido. • Impermeabilizante que sirve como recubrimiento protector con base en resinas acrílicas para hormigón, mortero, etc. • Impermeabilizante: Recubrimiento epóxico insensible a la humedad con resistencia química. 	Protección del acero de refuerzo e impermeabilización del recubrimiento.

Tabla 51 Recomendaciones para rehabilitación. Fuente: (Mogrovejo Carrasco & García, 2006)



Anexos

Anexo 1: Fotografías

Profundidad de carbonatación



Gráfico 253 Ensayo de Carbonatación. Fuente: (Mogrovejo Carrasco & García, 2006)



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Esclerometría



Gráfico 254 Ensayo de Esclerometría. Fuente: (Mogrovejo Carrasco & García, 2006)

Núcleos perforados



Gráfico 255 Ensayo de Esclerometría. Fuente: (Mogrovejo Carrasco & García, 2006)

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página 405 de 473



Adherencia



Gráfico 256 Ensayo de Adherencia. Fuente: (Mogrovejo Carrasco & García, 2006)

Levantamiento de fisuras y Ultrasonido



Gráfico 257 Levantamiento de fisuras y ensayo de Ultrasonido. Fuente: (Mogrovejo Carrasco & García, 2006)



Levantamiento de oquedades



Gráfico 258 Levantamiento de oquedades. Fuente: (Mogrovejo Carrasco & García, 2006)

Potencial de corrosión




Gráfico 259 Levantamiento de oquedades. Fuente: (Mogrovejo Carrasco & García, 2006)



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Anexo 2: Plantilla ensayo de Carbonatación

 UNIVERSIDAD DE CUENCA Facultad de Ingeniería		MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-DESTRUCTIVOS			CÓDIGO ESD01	
INSTITUCIÓN	Universidad de Cuenca			HORA	FECHA	
PROYECTO	Evaluación y Diagnóstico de los pórticos del Puente Asunción			9:30	22/10/2006	
UBICACIÓN	Av. Francisco Moscoso, sector Universidad del Azuay					
ENSAYO DE CARBONATACIÓN						
N° Ensayo	Elemento	Ubicación	Profundidad (mm)		Recubrimiento (mm)	Observaciones
			máx	mín		
1	Pórtico A	superior aguas abajo	24	14	50	Carbonatación alcanza 48% del espesor del recubrimiento
2	Pórtico B	superior aguas abajo	24	16	50	Carbonatación alcanza 48% del espesor del recubrimiento
3	Pórtico C	superior aguas abajo	27	17	50	Carbonatación alcanza 54% del espesor del recubrimiento
4	Pórtico D	superior aguas abajo	24	14	50	Carbonatación alcanza 48% del espesor del recubrimiento
5	Pórtico E	superior aguas abajo	22	15	50	Carbonatación alcanza 44% del espesor del recubrimiento
6	Pórtico A	inferior aguas abajo	2	1	50	Carbonatación alcanza 4% del espesor del recubrimiento
7	Pórtico B	inferior aguas abajo	1,5	1	50	Carbonatación alcanza 3% del espesor del recubrimiento
8	Pórtico C	inferior aguas abajo	1	0	50	Carbonatación alcanza 2% del espesor del recubrimiento
9	Pórtico D	inferior aguas abajo	1	0	50	Carbonatación alcanza 2% del espesor del recubrimiento
10	Pórtico E	inferior aguas abajo	1,5	1	50	Carbonatación alcanza 3% del espesor del recubrimiento

Vigencia desde:


Marzo-2021

Página **408** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA


Anexo 3: Plantilla ensayo de Esclerometría

 UNIVERSIDAD DE CUENCA Facultad de Ingeniería		MANUAL PRÁCTICO DE INGENIERÍA FORENSE Y PATOLOGÍA PARA ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN										CÓDIGO						
												END03						
INSTITUCIÓN		Universidad de Cuenca										FECHA	HORA					
PROYECTO		Evaluación y Diagnóstico de los pórticos del Puente Asunción										22/10/2006	11:00					
UBICACIÓN		Av. Francisco Moscoso, sector Universidad del Azuay																
Resistencia de diseño		Nombre Martillo	Martillo Schmidt				Serie Martillo		-		Clima	Soleado						
u	-												Valor	-				
ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA																		
Elemento	Ubicación	Orientación	Lecturas										Q Prom	Desv Est	Factor de Corrección	Resistencia		Observaciones
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				u	Kg/cm ²	
Pórtico A	Centro, aguas abajo	Horizontal	41	43	44	40	42	44	44	42	42	41	42,3	1,42	-	390		Se eliminaron datos que diferían en más de 6 unidades. No se utiliza factor de corrección.
Pórtico B	Centro, aguas abajo	Horizontal	42	40	44	41	44	42	40	44	40	44	42,1	1,79	-	380		Se eliminaron datos que diferían en más de 6 unidades. No se utiliza factor de corrección.
Pórtico C	Centro, aguas abajo	Horizontal	42	48	46	44	42	44	46	48	44	46	45	2,16	-	430		Se eliminaron datos que diferían en más de 6 unidades. No se utiliza factor de corrección.
Pórtico D	Centro, aguas abajo	Horizontal	38	41	40	41	38	40	41	39	40	38	39,6	1,26	-	335		Se eliminaron datos que diferían en más de 6 unidades. No se utiliza factor de corrección.
Pórtico E	Centro, aguas abajo	Horizontal	45	40	42	40	42	44	40	40	44	41	41,8	1,93	-	380		Se eliminaron datos que diferían en más de 6 unidades. No se utiliza factor de corrección.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Anexo 4: Plantilla ensayo de Núcleos perforados

		UNIVERSIDAD DE CUENCA Facultad de Ingeniería		MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-DESTRUCTIVOS								CÓDIGO ESD03					
INSTITUCIÓN				Universidad de Cuenca								FECHA	HORA				
PROYECTO				Evaluación y Diagnóstico de los pórticos del Puente Asunción								24/10/2006	9:00				
UBICACIÓN				Av. Francisco Moscoso, sector Universidad del Azuay													
ENSAYO DE NÚCLEOS PERFORADOS - ENSAYO DE COMPRESIÓN																	
Elemento	N° Ensayo	Ubicación	Altura		Diámetro		L/D	Área		Carga rotura		Resistencia		Factor de corrección	Resistencia corregida		Observaciones
			u	cm	u	cm		u	cm ²	u	KN	u	Kg/cm ²		u	Kg/cm ²	
Pórtico A	1	Centro, aguas abajo	11,38		5,96		1,91	27,9		106,50		389,3		1	389,3	Según ASTM C42, cuando L/D > 1,75 no se necesita factor de corrección.	
Pórtico B	2	Centro, aguas abajo	11,61		5,96		1,95	27,9		87,00		318		1	318	Según ASTM C42, cuando L/D > 1,75 no se necesita factor de corrección.	
Pórtico C	3	Centro, aguas abajo	11,50		5,96		1,93	27,9		81,68		298,5		1	298,5	Según ASTM C42, cuando L/D > 1,75 no se necesita factor de corrección.	
Pórtico D	4	Centro, aguas abajo	11,96		5,96		2,01	27,9		44,67		163,3		1	163,3	Según ASTM C42, cuando L/D > 1,75 no se necesita factor de corrección.	
Pórtico E	5	Centro, aguas abajo	10,21		5,96		1,71	27,9		73,65		269,2		1	269,2	Según ASTM C42, cuando L/D > 1,75 no se necesita factor de corrección.	



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Anexo 5: Plantilla ensayo de Adherencia

		MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-DESTRUCTIVOS					CÓDIGO		
							ESD02		
INSTITUCIÓN	Universidad de Cuenca					HORA	FECHA		
PROYECTO	Evaluación y Diagnóstico de los pórticos del Puente Asunción					10:00	23/10/2006		
UBICACIÓN	Av. Francisco Moscoso, sector Universidad del Azuay								
ENSAYO DE ADHERENCIA (PULL OFF)									
N° Ensayo	Elemento	Diámetro		Área		Carga Tensión	Resistencia (Mpa)	Tipo de Falla	Observaciones
		u		u		u			
1	Pórtico A	-		-		-	1,51	95% mortero, 5% epóxico	Se utiliza una placa cuadrada. El equipo entrega la resistencia directamente.
2	Pórtico B	-		-		-	2,46	95% mortero, 5% epóxico	Se utiliza una placa cuadrada. El equipo entrega la resistencia directamente.
3	Pórtico C	-		-		-	2,15	70% mortero, 30% epóxico	Se utiliza una placa cuadrada. El equipo entrega la resistencia directamente.
4	Pórtico D	-		-		-	1,24	90% mortero, 10% epóxico	Se utiliza una placa cuadrada. El equipo entrega la resistencia directamente.
5	Pórtico E	-		-		-	2,51	100% mortero	Se utiliza una placa cuadrada. El equipo entrega la resistencia directamente.

Vigencia desde:


Marzo-2021

Página 411 de 473



UNIVERSIDAD DE CUENCA


Anexo 6: Plantilla ensayo de Ultrasonido

 UNIVERSIDAD DE CUENCA Facultad de Ingeniería			MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-DESTRUCTIVOS						CÓDIGO	
									END06	
INSTITUCIÓN			Universidad de Cuenca						FECHA	HORA
PROYECTO			Evaluación y Diagnóstico de los pórticos del Puente Asunción						26/10/2006	11:30
UBICACIÓN			Av. Francisco Moscoso, sector Universidad del Azuay							
ENSAYO DE ULTRASONIDO - INDIRECTA										
Elemento	N° Ensayo	Ubicación	Tiempo rl (μs)	Distancia (cm)	Tiempo rc (μs)	V corregida (m/s)	Calidad	Espesor capa	Profundidad fisura (cm)	Inclinación fisura
Pórtico A	1	Aguas arriba, sup	77	20	83	-	-	-	8	-
Pórtico A	2	Aguas arriba, sup	78,7	20	98,4	-	-	-	15	-
Pórtico A	3	Aguas arriba, inf	76	20	153,1	-	-	-	35	-
Pórtico A	4	Aguas abajo, sup	73	20	87,2	-	-	-	13	-
Pórtico B	5	Aguas arriba, sup	79	20	143,8	-	-	-	30	-
Pórtico B	6	Aguas arriba, inf	63,1	20	89,3	-	-	-	20	-
Pórtico B	7	Aguas arriba, inf	78,4	20	98,6	-	-	-	15	-
Pórtico C	8	Aguas arriba, sup	98,2	20	109	-	-	-	10	-
Pórtico C	9	Aguas arriba, inf	88,9	20	177,3	-	-	-	35	-
Pórtico D	10	Aguas abajo, sup	210,2	20	233,4	-	-	-	10	-
Pórtico E	11	Aguas arriba, sup	53,5	20	60	-	-	-	10	-
Pórtico E	12	Aguas abajo, sup	33,4	20	33,9	-	-	-	3	-



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Anexo 7: Plantilla ensayo de Potencial de corrosión

 UNIVERSIDAD DE CUENCA Facultad de Ingeniería		MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-DESTRUCTIVOS				CÓDIGO END05
INSTITUCIÓN		Universidad de Cuenca			HORA	FECHA
PROYECTO		Evaluación y Diagnóstico de los pórticos del Puente			9:30	28/10/2006
UBICACIÓN		Av. Francisco Moscoso, sector Universidad del Azuay				
ENSAYO DE POTENCIAL DE CORROSIÓN						
N° Ensayo	Elemento	Ubicación	Lectura (V)	Probabilidad corrosión	Condición	Observaciones
1	Pórtico A	Inf1	-0,076	10%	Pasiva	-
2		Inf2	-0,137	10%	Pasiva	-
3		Inf3	-0,211	Incierto	Pasiva	-
4		Inf4	-0,236	Incierto	Incierto	-
5		Inf5	-0,338	Incierto	Activa	-
6		Inf6	-0,355	90%	Activa	-
7		Inf7	-0,380	90%	Activa	-
8		Inf8	-0,480	90%	Activa	-
9	Pórtico B	Inf1	-0,133	10%	Pasiva	-
10		Inf2	-0,183	10%	Pasiva	-
11		Inf3	-0,270	Incierto	Incierto	-
12		Inf4	-0,327	Incierto	Activa	-
13		Inf5	-0,377	90%	Activa	-
14		Inf6	-0,389	90%	Activa	-
15	Pórtico C	Inf1	-0,110	10%	Pasiva	-
16		Inf2	-0,282	Incierto	Activa	-
17		Inf3	-0,336	Incierto	Activa	-
18		Inf4	-0,364	90%	Activa	-
19		Inf5	-0,377	90%	Activa	-
20	Pórtico D	Inf1	-0,256	Incierto	Incierto	-
21		Inf2	-0,311	Incierto	Activa	-
22		Inf3	-0,328	Incierto	Activa	-
23		Inf4	-0,319	Incierto	Activa	-
24		Inf5	-0,371	90%	Activa	-
25	Pórtico E	Inf1	-0,249	Incierto	Incierto	-
26		Inf2	-0,293	Incierto	Activa	-
27		Inf3	-0,300	Incierto	Activa	-
28		Inf4	-0,351	90%	Activa	-
29		Inf5	-0,415	90%	Activa	-

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página 413 de 473

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y PLANTILLAS



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Contenido

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y PLANTILLAS.....	414
6.1. Conclusiones.....	417
6.1.1. Patologías.....	417
6.1.2. Ensayos	417
6.1.3. Árboles	417
6.1.4. Ejemplo	418
6.2. Recomendaciones.....	418
6.3. Bibliografía.....	419
6.4. PLANTILLAS	431
PESOS PATOLOGÍAS.....	432
Instrucción de llenado en plantilla.....	433
FASE PRELIMINAR.....	434
Instrucción de llenado en plantilla.....	435
INSPECCIÓN VISUAL.....	436
Instrucción de llenado en plantilla.....	437
Instrucción de llenado en plantilla.....	441
ENSAYO GPR PARA EVALUACIÓN DEL CONCRETO.....	442
Instrucción de llenado en plantilla.....	443
ENSAYO DE TERMOGRAFÍA INFRARROJA	445
Instrucción de llenado en plantilla.....	446
ENSAYO DE POTENCIAL DE CORROSIÓN	448
Instrucción de llenado en plantilla.....	449
ENSAYO DE ULTRASONIDO - TRANSMISIÓN SEMI DIRECTA Y DIRECTA	450
Instrucción de llenado en plantilla.....	451
Instrucción de llenado en plantilla.....	453
ENSAYO DE MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DE ONDA-P Y ESPESOR DE PLACAS DE CONCRETO, MÉTODO IMPACTO-ECO	455
Instrucción de llenado en plantilla.....	456
ENSAYO DE CARBONATACIÓN	458
Instrucción de llenado en plantilla.....	459
ENSAYO DE ADHERENCIA (PULL OFF)	460
Instrucción de llenado en plantilla.....	461

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **415** de **473**

ENSAYO DE NÚCLEOS PERFORADOS - ENSAYO DE COMPRESIÓN	463
Instrucción de llenado en plantilla.....	464
ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA.....	466
Instrucción de llenado en plantilla.....	467
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA EXTRACCIÓN POR DESLIZAMIENTO (PULL OUT).....	469
Instrucción de llenado en plantilla.....	470
ENSAYO DE MADUREZ PARA LA ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA DE CONCRETO EN OBRA	472
Instrucción de llenado en plantilla.....	473



6.1. Conclusiones

- Se creó un manual práctico de intervención para la evaluación de estructuras de hormigón, en el cual se indica de manera detallada las patologías, ensayos y procedimientos que se deben seguir.
- Se revisó detalladamente bibliografía sobre metodologías de creación de manuales para la elaboración del trabajo.

6.1.1. Patologías

- Luego de una exhaustiva revisión bibliográfica, se establecieron las principales patologías que afectan a las estructuras de hormigón, buscando hacer énfasis en las que se encuentran comúnmente en nuestro medio; como, por ejemplo: uso de materiales de mala calidad, procesos de desintegración, efectos ambientales, entre otros.
- En la introducción de las patologías, se llevó a cabo una matriz resumen de los grupos principales de estas, que incluye la descripción, el origen y la sección de cada una de ellas para facilitar al usuario la utilización del manual, pudiendo buscar una patología en específico cuando lo requiera.
- Se realizó un compendio de causas, características, consecuencias y ejemplos reales de cada una de las patologías.

6.1.2. Ensayos

- Analizando algunos ejemplos de informes técnicos realizados en la región, con respecto al ámbito de la evaluación de la condición de la infraestructura, se seleccionaron los ensayos más comunes para la elaboración del manual.
- En la sección de introducción de los ensayos se diseñaron matrices compendio. En la primera se clasifican los ensayos y se da una breve descripción, usos, zona de análisis, normativas y daño causado por cada ensayo. Mientras que en la segunda se muestran los parámetros que se pueden encontrar con el uso de cada uno de los ensayos; con esto el usuario puede tener una idea clara del ensayo adecuado en base al parámetro que requiere determinar.
- Para cada ensayo se recopiló información que ayudó a establecer un marco teórico que contiene un resumen sobre el principio del ensayo, normas, usos, alcance, materiales y equipos, procedimiento y análisis de información.
- Además, se incorporó diagramas de flujo que ayuden a entender mejor el procedimiento que se debe realizar en cada uno de los ensayos.
- Estudiando los parámetros y variables que intervienen en cada ensayo, se hicieron plantillas que faciliten al usuario la tabulación y el registro de datos. Adicionalmente, se llevaron a cabo instructivos de llenado para cada plantilla, con el fin de explicar cómo hacerlo adecuadamente.

6.1.3. Árboles

- Se plantearon árboles de soluciones en base a las patologías encontradas y con respecto a los daños observados en la inspección visual. Estos árboles ayudan a trazar un camino con el fin de seleccionar los ensayos principales y complementarios a realizar en base a las patologías o daños.
- Se cumplió con el objetivo de ayudar, y facilitar al usuario a tomar una mejor decisión en cuanto a la elección de los ensayos para una correcta evaluación.



6.1.4. Ejemplo

- Se comprobó con un ejemplo real la utilidad del manual. En el ejemplo se indica el uso de los árboles de decisiones y de todos los capítulos presentes en el manual.
- Partiendo de la inspección visual (Capítulo III), se observaron las patologías presentes en la estructura gracias a los conocimientos previamente adquiridos (Capítulo II), se llenaron las plantillas de inspección visual y fase de documentación (Capítulo VI) y con estos datos se buscaron los caminos recomendados en los árboles de soluciones (Capítulo IV); seleccionando los ensayos necesarios para la evaluación de la infraestructura.
- Se realizó un informe preliminar, en base a los datos recolectados en las plantillas durante la inspección visual y los resultados obtenidos en los árboles de soluciones. Se indicó la presentación y contenido de cada sección correspondiente al informe preliminar.
- Se tabularon los datos de los ensayos con ayuda de las plantillas correspondientes. Se analizaron los datos obtenidos con las tablas de criterios y ecuaciones recomendadas por diferentes autores (indicadas en cada sección del Capítulo III), por ejemplo, la probabilidad de corrosión, el estado de corrosión, vida remanente, profundidad de fisuras, entre otros.
- Se redactó un informe técnico, tomando como referencia un ejemplo real de nuestra ciudad. Donde se presenta los resultados de cada ensayo, el análisis de los datos obtenidos, recomendaciones de rehabilitación y fotografías que muestran de manera gráfica los daños y ensayos realizados.

6.2. Recomendaciones

- Para un correcto uso del manual se recomienda familiarizarse con las patologías como primer paso; luego realizar una buena inspección visual para identificar los daños y patologías existentes, con esto se puede hacer uso de los árboles de soluciones para seleccionar los ensayos que se deben realizar y, por último, seguir el procedimiento y análisis indicados en cada ensayo.
- El uso de los ensayos depende de la factibilidad de los mismos. Es decir, se deben evaluar los costos, precisión necesaria y disponibilidad de equipos.
- Cuando el proyecto tiene importancia considerable y se requiere mayor confiabilidad, se recomienda realizar ensayos complementarios que aporten información relevante, que corrobore los resultados de los primeros ensayos. Por ejemplo: Si se considera que los resultados del ensayo de Esclerometría no son confiables, se debe efectuar ensayos más precisos, como Núcleos perforados.
- Para una actualización, se considera importante mantenerse al tanto de tecnologías emergentes, debido a que es un tema en constante evolución, para la evaluación de las estructuras.
- Se debe investigar más sobre los procesos de rehabilitación o reparación, para conocer materiales existentes y nuevos que ayuden a reparar la estructura. Se puede realizar un trabajo de investigación sobre este tema, el cual sería un complemento del manual elaborado.
- En los problemas judiciales cuando se requiere un informe técnico del Ingeniero Forense, el juez solicita un presupuesto o costos aproximados de las reparaciones que se deben realizar en la estructura; por lo tanto, se recomienda adjuntar dentro del informe técnico un costo aproximado del total de la rehabilitación.



6.3. Bibliografía

- 360 en Concreto. (2019). Recomendaciones para la colocación de concreto en obra. Recuperado de: <https://www.360enconcreto.com/blog/que-hacer-cuando/colocacion-del-concreto-en-obra>
- 360 en Concreto. (2020). Lo que debes saber sobre el ataque de sulfato en el concreto. Recuperado de: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/ataque-de-sulfato-en-el-concreto>
- 4geniecivil. (2012). Lords of strategy in civil engineering. Recuperado de: <https://www.4geniecivil.com/2012/10/lords-of-strategy-in-civil-engineering.html>
- ACI 201.2R. (2001). Guía para la Durabilidad del Hormigón. Recuperado de: <https://www.academia.edu/8458239/>
- ACI 224R. (2001). Control de la Fisuración en Estructuras de Hormigón. Recuperado de: https://www.academia.edu/28125509/ACI_224R_01
- ACI 228.1R. (2003). In-Place Methods to Estimate Concrete Strength Reported. ACI Committee Reports, 228, 1R, 44.
- ACI 228.2R. (1998). Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures. Manual of Concrete Practice, 98(Reapproved), 62.
- ACI 318. (2014). Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary. American Concrete Institute.
- ACI 318S. (2014). Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural y Comentario. American Concrete Institute.
- ACI 364.1 R. (1994). Guide for Evaluation of Concrete Structures Prior to Rehabilitation. Evaluation, 94(Reapproved), 1–22.
- ACI 440.2R. (2008). Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures. In ACI Committee 440. American Concrete Institute. Recuperado de: [https://doi.org/10.1061/40753\(171\)159](https://doi.org/10.1061/40753(171)159)
- Agreda, L., & Guevara, R. (2019). Propuesta de una metodología constructiva de losas postensadas con adherencia en edificaciones, departamento de San Martín, 2019. Recuperado de: <http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/899>
- Aguiá, S. (2018). Ejemplo de lo que no se debe hacer en una estructura. Recuperado de: <https://twitter.com/seaguia/status/1067753837841342464?lang=es>
- Aguiar Falconi, R. (2017). Peligrosidad sísmica de la costa norte de Ecuador y el terremoto de Pedernales de 2016. Revista Geofísica, 1(67), 9–24. Recuperado de: <https://revistasipgh.org/index.php/regeofi/article/view/159>
- Aguilera, C. (2013). Aproximación del GPR (Ground Penetrating Radar) como ensayo para estimar el estado estructural de un pavimento bituminoso. Recuperado de: <https://core.ac.uk/display/41812590>
- Aguirre, L. (2015). Resistencia a la compresión del concreto a partir de la velocidad de pulsos de ultrasonido. Revista Civilízate, 6, 18–20.
- Aguirre, O., & Vidaud, E. (2015). PULL-OUT: Método de estimación de la resistencia a compresión en estructuras de concreto. Construcción Y Tecnología En Concreto, 33–38. Recuperado de: <http://www.imcyc.com/revistacyt/pdf/agosto2015/tecnologia.pdf>
- Alario, E. (2012). Humedades por Capilaridad en Obras de Construcción. Patologías. Recuperado de: <https://enriquealario.com/humedades-por-capilaridad-en-obras-de-construccion/>



UNIVERSIDAD DE CUENCA

- Alonso, M., & Flor Laguna, V. (2013). Determinación de la profundidad de daño en estructuras de hormigón post-incendio. Revista Alconpat, 3, 1–16. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/4276/427639591002.pdf>
- Álvarez, S., & Ochoa, C. (2018). Evaluación Estructural y Funcional Mediante Métodos Semi-Destructivos y no Destructivos: Caso de Estudio del Puente Sobre el Río Tomebamba, en la Av. Unidad Nacional Cuenca – Ecuador. Trabajo de Titulación Previo a La Obtención Del Título de Ingeniero Civil. Santiago, 1(5), 1–127. Recuperado de: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30320>
- Amón Valle, M. P. (2016). Metodología de reparación de fallas constructivas evidenciadas en Manabí tras terremoto Pedernales del 16 de abril de 2016 con intensidad 7.8 en la escala de Richter [Universidad de Guayaquil]. Recuperado de: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/16418>
- Angamarca, J., & Caguana, D. (2018). Evaluación patológica de infraestructuras hidráulicas de Elecaastro. In Trabajo de Titulación, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil. Universidad de Cuenca. Recuperado de: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/31516>
- Arancibia, F. (2009). Hundimiento de muros de contención. Ingeniería y Construcción. Recuperado de: <https://facingyconst.blogspot.com/2009/08/hundimiento-de-muros-de-contencion.html>
- Arango Mejía, S. (2013). Causas de daños en el concreto. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/SergioPap/patologia-del-concreto-causas-de-daos-en-el-concreto>
- Asociación Colombiana de Productores de Concreto. (2020a). ¿Cómo evitar la reacción álcali agregado? Recuperado de: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/191como-evitar-la-reaccion-alkali-agregado>
- Asociación Colombiana de Productores de Concreto. (2020b). 5 acciones químicas que deterioran el concreto. Tecnología Del Concreto. Recuperado de: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/5-acciones-quimicas-que-deterioran-el-concreto-1>
- Asociación de Fabricantes de Morteros y Sate. (2019). Causas químicas del deterioro del hormigón. Artículos
- Técnicos Morteros de Reparación de Hormigón. Recuperado de: <https://anfapa.com/articulos-tecnicos-morteros-de-reparacion-de-hormigon/1164/causas-quimicas-del-deterioro-del-hormigon>
- ASTM C1060. (2003). Standard Practice for Thermographic Inspection of Insulation Installations in Envelope Cavities of Frame Buildings. System, 04(Reapproved), 1–6.
- ASTM C1074. (2004). Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method. American Society for Testing and Materials, 1–9.
- ASTM C1383. (2015). Standard Test Method for Measuring the P-Wave Speed and the Thickness of Concrete Plates Using the Impact-Echo Method. American Society for Testing and Materials.
- ASTM C1583. (2013). Standard Test Method for Tensile Strength of Concrete Surfaces and the Bond Strength or Tensile Strength of Concrete Repair and Overlay Materials by Direct Tension (Pull-off Method). American Society for Testing and Materials. Recuperado de: <https://doi.org/10.1520/C1583>
- ASTM C42. (2004). Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete.
- ASTM C597. (2016). Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete. American Society for Testing and Materials. Recuperado de: <https://www.astm.org/Standards/C597.htm>
- ASTM C805. (1997). Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete. American Society for Testing and Materials, 1–3.
- ASTM C876. (2015). Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete. American Society for Testing and Materials. Recuperado de:

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **420** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

https://kupdf.net/download/astm-c876-15-corrosion-potentials-of-uncoated-reinforcing-steel-in-concrete_5c2575a6e2b6f59b2385c273_pdf

- ASTM C900. (2006). Standard test method for pullout strenght of hardened concrete. American Society for Testing and Materials, 1–10.
- ASTM D4541. (2002). Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers. Recuperado de: <https://fliphtml5.com/ipxo/ferx/basic>
- ASTM D4748. (2010). Standard Test Method for Determining the Thickness of Bound Pavement Layers Using Short-Pulse Radar. American Society for Testing and Materials. Recuperado de: <https://www.astm.org/Standards/D4748.htm>
- ASTM D4788. (2003). Standard Test Method for Detecting Delaminations in Bridge Decks Using Infrared Thermography. American Society for Testing and Materials. Recuperado de: <https://www.astm.org/Standards/D4788.htm>
- ASTM D6087. (2008). Standard Test Method for Evaluating Asphalt-Covered Concrete Bridge Decks Using Ground Penetrating Radar. American Society for Testing and Materials. Recuperado de: <https://www.astm.org/Standards/D6087.htm>
- ASTM D6432. (2011). Standard Guide for Using the Surface Ground Penetrating Radar Method for Subsurface Investigation. American Society for Testing and Materials, 99(Reapproved), 1–17. Recuperado de: <https://doi.org/10.1520/D6432-11.2>
- ASTM D7234. (2012). Standard Test Method for Pull-Off Adhesion Strength of Coatings on Concrete Using Portable Pull-Off Adhesion Testers. American Society for Testing and Materials, 1–10. Recuperado de: <https://doi.org/10.1520/D7234-12.2>
- ASTM STP205. (1958). Carbonation of Hydrated Portland Cement. Cement and Concrete.
- Avendaño, E. (2006). Detección, tratamiento y prevención de patologías en sistemas de concreto estructural utilizados en infraestructura industrial [Universidad de Costa Rica]. In Tesis de Grado. Recuperado de: <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/936/27252.pdf?sequence=1>
- Beauperthuy, J. L., & Urich, A. J. (2011). El Efecto de Columna Corta. Estudios de Casos. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/339697161_El_Efecto_de_Columna_Corta_Estudio_de_Casos
- Bellido de Luna, R. (2017a). ¿Cuánto cuesta tener un hormigón de calidad en la obra? Giatec, Método de Madurez Del Hormigón. Recuperado de: <https://giatec.bdl.cl/cuanto-cuesta-tener-un-hormigon-de-calidad-en-la-obra/>
- Bellido de Luna, R. (2017b). Cómo ahorrar costos en el control de calidad con sensores inteligentes. Giatec, Método de Madurez Del Hormigón. Recuperado de: <https://giatec.bdl.cl/ahorrar-costos-control-calidad-del-hormigon-sensores-inteligentes/>
- Bellido de Luna, R. (2017c). Guía para elaborar curva de madurez o curva de caracterización de hormigón para método de madurez. Giatec, Método de Madurez Del Hormigón. Recuperado de: <https://giatec.bdl.cl/guia-para-elaborar-curva-madurez-caracterizacion-hormigon/>
- Bellido de Luna, R. (2017d). Uso de SmartRock para reducir costos de apuntalamiento o alzaprimado y acelerar la obra gruesa. Giatec, Método de Madurez Del Hormigón. Recuperado de: <https://giatec.bdl.cl/uso-de-smartrock-para-reducir-costos-de-apuntalamiento-o-alzaprimado-y-acelerar-la-obra-gruesa/>
- Benavides, L. (2016). Colapso del Hotel New World. Recuperado de: <https://ic00105.forosactivos.net/t59-colapso-del-hotel-new-world>

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **421** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

- Benítez Reynoso, A. (2012). El Método Científico en la Ingeniería Estructural Forense. Recuperado de: <https://jornadasaie.org.ar/jornadas-aie-antecedentes/2012/contenidos/trabajos/71.pdf>
- BS 1881 - 204. (1988). Testing concrete - Part 204: Recommendations on the use of electromagnetic covermeters. British Standard, 1–13.
- Buendía Sánchez, L. M., & Reinoso Angulo, E. (2019). Patologías estructurales. Revista Mexicana de La Construcción. Recuperado de: <https://www.cmec.org/patologias-estructurales/>
- Calavera, J. (2005). Patología de Estructuras de Hormigón Armado y Pretensado. Atlas de Fisuras.
- Calo, D. (2008). Diseño de pavimentos rígidos. Jornada de Actualización Técnica. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/henryj20/diseo-pavimento-rigido>
- Caminos CIV. (2017). Trabajos de losa por alabeo en kilómetro 207+100, Bif. CA-14, 197 Santa Cruz Verapaz-San Juan Chamelco. Recuperado de: https://twitter.com/caminos_civ/status/859464615377416192
- Canstockphoto. (n.d.). Muro De Textura Viejo Y Hormigón. Recuperado de: <https://www.canstockphoto.es/grungy-concreto-viejo-textura-pared-22781942.html>
- Cárcamo, M. (2003). Agrietamiento del Concreto en Estado Plástico. Unidad de Investigación y Desarrollo Vial. Recuperado de: https://www.u-cursos.cl/usuario/cb427d38f29a715e97a6c5a512d780f6/mi_blog/r/cam062.pdf
- Carper, K. L. (2001). Forensic Engineering (Vol. 2). CRC Press.
- Carro, J. (2018). Ensayo de adherencia por tracción ("pull-off test"). MasScience. Recuperado de: <https://www.massscience.com/2018/08/10/ensayo-de-adherencia-por-traccion-pull-off-test/>
- Casagallo, A. (2020). Evaluación de Estructuras. Taller de Evaluación Estructural y Patologías.
- Castañeda, A. E., Mielles Bravo, Y., Castañeda, A. E., & Mielles Bravo, Y. (2017). Una mirada al comportamiento estructural de columnas, vigas, entrepisos y edificaciones durante el sismo de Ecuador 2016. Revista Ingeniería de Construcción, 32(3), 157–172. Recuperado de: <https://doi.org/10.4067/S0718-50732017000300157>
- Castillo, L. (2016, July 13). En Cuenca se detectaron fallas en las construcciones. El Comercio. Recuperado de: <https://www.elcomercio.com/actualidad/cuenca-estudio-fallas-construcciones-sismos.html>
- Ceballos, A. (2019). 5 Errores comunes en construcciones en concreto reforzado. Recuperado de: <https://andresceballos2019.wixsite.com/inicio/post/5-errores-comunes-en-construcciones-en-concreto-reforzado>
- Cenais. (2020). Las edificaciones y los terremotos. Parte I. Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas. Recuperado de: <http://www.cenais.cu/cenais/index.php/2020/05/31/las-edificaciones-y-los-terremotos-parte-i/>
- Chinè-Polito, B., Cuevas-Kauffmann, R., Jiménez-Salas, R., & Ortiz-Quesada, G. (2018). Estudio experimental de la carbonatación del concreto. Tecnológico de Costa Rica. Recuperado de: https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/4350/3940
- Chuquimarca, E. (2016). Malas construcciones y falta de cultura de prevención dejan cientos de muertos en Ecuador. Xinhuanet. Recuperado de: http://spanish.xinhuanet.com/2016-04/23/c_135304825.htm
- Civil Engineering Forum. (2017). Causes of Formwork Failures. Recuperado de: <https://www.civilengineeringforum.me/causes-of-formwork-failures/>
- Claros, E. (2020). ¿Cuál debe ser la temperatura máxima del concreto fresco? 360 En Concreto. Recuperado de: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/categoria/normatividad/191cual-debe-ser-la-temperatura-maxima-del-concreto-fresco>
- Concrelab. (2020). Patología y Diseños. FICHA TÉCNICA Patología y Diseños.

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **422** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

- Concreto online. (2018). Patologías por arcillas expansivas, naturaleza y comportamiento. Construcción. Recuperado de: <https://www.concretonline.com/construccion/patologias-por-arcillas-expansivas-naturaleza-y-comportamiento>
- Construmática, Confederación Nacional de Construcción, & Aseamac. (2010). Uso Seguro de la Perforadora de Corona. Construpedia. Recuperado de: https://www.construmatica.com/construpedia/Uso_Seguro_de_la_Perforadora_de_Corona
- Corporación de desarrollo Técnico, & Cámara chilena de la construcción. (2012). Humedad por Condensación en Viviendas. Documentos Técnicos, 33. Recuperado de: <https://extension.cchc.cl/datafiles/30807-2.pdf>
- Das, B. M. (2012). 5.20 Asentamientos tolerables en edificios. In Fundamentos de ingeniería de cimentaciones (7ma edición, pp. 282–285). Recuperado de: https://issuu.com/gustavochonlongalcivar/docs/fundamentos_de_ingenieria_de_ciment
- De la Torre, A. (2011). Optimización de la transmisión de calor en el hueco del cerramiento a través de jambas, dintel y alféizar, evaluando su comportamiento mediante métodos no destructivos. In TRABAJO FIN DE MÁSTER. Recuperado de: http://oa.upm.es/9486/2/TESIS_MASTER_ALEJANDRO_DE_LA_TORRE_MORENO.pdf
- Departamento Técnico de Productos CAVE S.A. (2017). Hormigón en ambiente de sulfatos. EMB Construcción. Recuperado de: <http://www.emb.cl/construccion/articulo.mvc?xid=1161&ni=hormigon-en-ambiente-de-sulfatos>
- Díaz Barreiro, P. (2014). Protocolo para los Estudios de Patología de la Construcción en Edificaciones de Concreto Reforzado en Colombia. Recuperado de: <https://doi.org/http://hdl.handle.net/10554/12694>
- Dirección de Planeación y Desarrollo. (2019). Guía para la Elaboración de Manuales de Procedimientos. Departamento de Diseño Organizacional. Recuperado de: <http://www.salud.oaxaca.gob.mx/wp-content/uploads/2019/01/GUÍA-MANUAL-PROCEDIMIENTOS-2019.pdf>
- Durango Jiménez, D. L., & Gamarra Torres, J. L. (2014). Corrosión del concreto simple. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/duvandurangojimenez/corrosin-del-concreto-simple>
- e-struc. (2019). La importancia del recubrimiento de las armaduras en el hormigón. Recuperado de: <https://e-struc.com/2014/12/29/la-importancia-del-recubrimiento-de-las-armaduras-en-el-hormigon/>
- Eadic. (2013). Ataques Químicos al Hormigón. Recuperado de: <https://www.eadic.com/ataques-quimicos-al-hormigon/>
- Echeverría, N., Galvis, H., & Naranjo, J. (2013). Ataque por cloruros del hormigón y del hormigón armado. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/nelsonecheverria2/ataque-por-cloruros-del-hormign-y-del-hormign-armado>
- El Universo. (2018, September 14). El hormigón es el más usado para construir viviendas en Ecuador. Recuperado de: <https://www.eluniverso.com/noticias/2018/09/14/nota/6951929/hormigon-es-mas-usado-construir-viviendas-ecuador>
- Emmons, P. (2005). Manual ilustrado de Reparación y Mantenimiento del concreto. In Análisis, estrategias y técnicas de reparación. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
- Engineering Discoveries. (2020). Structural Frame Behavior Beams, Columns and Slabs. Recuperado de: <https://engineeringdiscoveries.com/structural-frame-behaviour-beams-columns-and-slabs/>
- Espinal, E., Hernández, D., & Echavarría, C. (2019). Cómo LOCALIZAR ARMADURAS, TUBERÍAS y CABLES ELÉCTRICOS dentro de elementos Constructivos- PACHÓMETRO. ArKiludus. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=wsSLNh6-ZJY>

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **423** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

- Fazily, Z. (2020). Errores constructivos. Recuperado de: <https://www.pinterest.es/pin/458311699586393344/>
- FLIR Systems. (2011). Guía sobre termografía para aplicaciones en edificios y energía renovable. Recuperado de: http://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/T820325/T820325_ES.pdf
- FPrimeC Solutions. (2017). 3 Methods for Crack Depth Measurement in Concrete. Inspection and Evaluation. Recuperado de: <https://www.fprimec.com/3-methods-crack-depth-measurement-in-concrete/>
- Frías, A., & Sevilla, E. (2015). Relación de la columna corta con la configuración estructural en planta y en elevación de un edificio de uso comercial de 4 pisos, ubicado en el sector Medio Ejido, cantón Cuenca, provincia de Azuay. Trabajo de Graduación Estructurado de Manera Independiente Previo a La Obtención Del Título de Ingeniero Civil. Recuperado de: <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/11731>
- Galistar. (2020). Todo sobre fisuración del hormigón. Recuperado de: <https://www.galistar.es/fisuracion-hormigon/>
- Gamboa, M. (2020). Asentamientos diferenciales. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/447662489/ASENTAMIENTOS-DIFERENCIALES-docx>
- García, E. (2020). Proyecto estructural. In Apuntes de clase.
- Gehrig, M. D., Morris, D. V., & Bryant, J. T. (2004). Ground Penetrating Radar for Concrete Evaluation Studies. 1–17. Recuperado de: http://foundationperformance.org/pastpresentations/gehrig_paper_march2004.pdf
- Generalitat Valenciana, & Instituto Valenciano de la Edificación. (2014). Fisuras inclinadas en vigas de hormigón. Recuperado de: http://xsapps-api.xtremesoft.net/media/ive/content/posts/renhata/consejos/fichas/CNS/vigas_hormigon_fisuras_inclinadas.pdf
- Geotechtips. (2016). Las típicas “cangrejas” u oquedades en el concreto. ¿Por qué se producen? Recuperado de: <https://twitter.com/GeotechTips/status/732892225194102784/photo/1>
- Germann Instruments inc. (n.d.-a). ConquestTM GPR. Recuperado de: <http://germann.org/wp-content/uploads/2016/06/Conquest-GPR.pdf>
- Germann Instruments inc. (n.d.-b). DOCTer Método Impact-Echo. Recuperado de: http://www.germann.org/Publications/Spanish_catalogs/DOCTer_Spanish.pdf
- Germann Instruments inc. (n.d.-c). Pull Out. Lok, Capo, y Bond Test. Recuperado de: https://doi.org/10.1007/978-3-642-41714-6_164335
- Giatec. (2016a). Giatec smartrock TM. SENSOR DE RESISTENCIA Y TEMPERATURA INALAMBRICO RESUMEN. Recuperado de: <https://giatec.bdl.cl/wp-content/uploads/2015/11/Giatec-SmartRock-DS-v15-10-CL.pdf>
- Giatec. (2016b). SmartRock TM Control de calidad inalambrico para el hormigón. Tecnología Inteligente Para Ensayos de Hormigón. Recuperado de: <https://giatec.bdl.cl/wp-content/uploads/2016/01/UserGuide-SmartRock.pdf>
- Gibson, A., & Popovics, J. S. (2005). Lamb Wave Basis for Impact-Echo Method Analysis. Journal of Engineering Mechanics, 131(4), 438–443. Recuperado de: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9399\(2005\)131:4\(438\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9399(2005)131:4(438))
- Gonzalez Herrera, R., & Gómez Soberón, M. C. (2009). Efectos de la irregularidad en planta por forma arquitectónica. Conference: XVII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/261642084>
- GPR training curses. (n.d.). GPR Antennas. Recuperado de: <https://gprtrainingcourses.com/gpr-limitations-considerations/gpr-antennas/>
- Grases, J. (2011). Patología e Ingeniería Forense Casos y Lecciones. In Casos y Lecciones.

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **424** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

- Grupo Gestcontrol. (2017). Cómo saber si mi edificio tiene aluminosis. Recuperado de: <https://www.grupogestcontrol.com/como-saber-si-mi-edificio-tiene-aluminosis/>
- GSSI. (n.d.). Our Past, Present and Future: GPR Antennas. Recuperado de: <https://www.geophysical.com/antennas>
- GSSI. (2011). How to: Locate Rebar in Concrete using Ground Penetrating Radar. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=hyFT-hs41T8>
- GSSI. (2015). Sir 4000 Manual. Recuperado de: http://userpage.fu-berlin.de/geodyn/instruments/Manual_GSSI_SIR4000.pdf
- Guarch, F. (2011). ¿Porque se mancha el porcelánico pulido? ¿Por humedad? ¿No es un producto sin absorción? Humedades En General. Recuperado de: <https://humedadcontrolada.com/porque-se-me-mancha-el-porcelanico-pulido-no-es-un-producto-sin-absorcion/>
- Guerrero Martínez, J., Montoya Villa, H., De la Cruz Romero, M. A., & Rodríguez López, F. (2016). Identificación y evaluación del riesgo de la corrosión en estructuras de concreto armado en plantas industriales sometidas a un ambiente ácido. CienciAcierta. Recuperado de: <http://www.cienciacierta.uadec.mx/2016/06/29/identificacion-y-evaluacion-del-riesgo-de-la-corrosion-en-estructuras-de-concreto-armado-en-plantas-industriales-sometidas-a-un-ambiente-acido/>
- Guzmán, A. (2016). Comportamiento Y Diseño de Estructuras de Concreto Reforzado Solicitados a Corte, Según Norma ACI 318-19. Recuperado de: <https://gmoralexv2.weebly.com/iii-esfuerzo-cortante-y-tensioacuten-diagonal.html>
- Harrison, T. (2017). Cold joints in concrete are your worst nightmare. But how do they occur and how do we prevent them? Concretebroker. Recuperado de: <https://www.concretebroker.com/Blog/View/163>
- Hcm Hormigones. (2018). Eflorescencias en el hormigón ¿cuál es su origen? Recuperado de: <http://www.hcmhormigones.es/index.php/2018/09/27/eflorescencias-en-el-hormigon-cual-es-su-origen/>
- Henry, J. L. (2003). Optimización del control de la resistencia del hormigón de la obra de la depuradora del Besós mediante ultrasonidos [Universidad Politécnica de Cataluña]. Recuperado de: <https://doi.org/http://hdl.handle.net/2099.1/6154>
- Heyarqui. (n.d.). Grietas o Fisuras ¿Son peligrosas? Recuperado de: <https://www.heyarqui.com/grietas-y-fisuras/>
- Hilti Group. (2017). HOW TO use Hilti DD 120 diamond coring tool for wet drilling into concrete. Core Drills. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=eEKH6cy7WJU>
- Horse. (2017). Crack repair: Quanzhou bay bridge.
- Humeingeniería. (2015). Corrosión de armaduras por filtración. Recuperado de: <https://humeingenieria.es/blog/corrosion-de-armaduras-por-filtracion/>
- ICCG. (2018). Boletín Técnico ICCG Ensayos no destructivos para evaluación de la resistencia del concreto endurecido. Boletín Técnico 06, 5.
- ICCG. (2019). Núcleos perforados para la evaluación de la resistencia a compresión del concreto endurecido. Boletín Técnico ICCG.
- IMCYC. (2017). Construcción y Tecnología en Concreto. Instituto Mexicano Del Cemento y Del Concreto, 14–15. Recuperado de: http://www.imcyc.com/revistacyt/MARZO_2017/MARZO17.pdf
- Incober. (2020). Carbonatación del hormigón – Qué es y cuáles son las causas de su aparición. Recuperado de: <https://incober.es/blog/carbonatacion-del-hormigon-que-es-y-cuales-son-las-causas-de-su-aparicion/>

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **425** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

- INEC. (2016). Encuesta de Edificaciones (Permisos de Construcción). Recuperado de: https://www.ecuadorenfrancas.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Encuesta_Edificaciones/2016/2016_EDIFICACIONES_PRESENTACION.pdf
- Ingeniero de caminos. (2020). Asentamientos en suelos. Recuperado de: <https://ingeniero-de-caminos.com/asentamientos-en-suelos/>
- Ingenieros asesores. (2018). Aluminosis del hormigón. Arquitectura y Edificación. Recuperado de: <https://ingenierosasesores.com/actualidad/aluminosis-del-hormigon/>
- Ipecontrol. (2019). Termografía infrarroja: su uso en el diagnóstico de edificios. Rehabilitación Energética. Recuperado de: <https://ipecontrol.com/termografia-infrarroja-su-uso-en-el-diagnostico-de-edificios/>
- Ipiales, M. (2015). Guía de Evaluación de Estructuras de Hormigón Armado y procedimientos de ensayos no destructivos, previo a su intervención y reparación. In Disertación previa a la obtención del título de Ingeniero Civil. Universidad Internacional del Ecuador. Recuperado de: <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/2205/1/T-UIDE-1254.pdf>
- Kalpana, K. (2020). Versailles wedding hall disaster. Recuperado de: <https://alchetron.com/Versailles-wedding-hall-disaster>
- Kestrel Meters. (2020). Kestrel 4000. Kestrel 4000 Pocket Weather Meter. Recuperado de: <https://kestrelmeters.com/products/kestrel-4000-weather-meter>
- Krystalline waterproof concrete. (2019). Ciclos hielo-deshielo del hormigón. Boletín Técnico. Recuperado de: <https://krystallinewaterproofconcrete.com/ciclos-hielo-deshielo-del-hormigon/>
- Lopez Rodríguez, F., Rodríguez Rodríguez, V., Santa Cruz Astorqui, J., Torreño Gomez, I., & Ubeda de Mingo, P. (2004). Manual de patología de la edificación Tomo 2 (Universidad Politécnica de Madrid (ed.)). Departamento de Tecnología de la Edificación. Recuperado de: http://www.asturcons.org/docsnormativa/5892_1523.pdf
- Mac, J. (2019). Tensar el cable por ambos extremos o no en postensado. Solo Arquitectura. Recuperado de: <https://www.soloarquitectura.com/foros/threads/tensar-el-cable-por-ambos-extremos-o-no-en-postensado.110432/page-2>
- María Veloz. (2014). Evaluación y Diseño de pavimentos por el método no destructivo - Georadar (GPR) y Deflectómetro de la antigua vía a Conocoto. UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA CARRERA. Recuperado de: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2930>
- MDF Construcción. (2015). Causas, daños y tratamiento de la aluminosis. Recuperado de: <http://mdfconstruccion.com/2015/07/causas-danos-diagnostico-y-tratamiento-de-la-aluminosis/>
- Melgosa Revillas, S. (2011). Guía de la termografía infrarroja Aplicaciones en ahorro y eficiencia energética.
- Mercado, F. (1990, November 24). El fabricante pide la "revisión sistemática" de todos los edificios construidos con cemento aluminoso. El País. Recuperado de: https://elpais.com/diario/1990/11/25/espana/659487614_850215.html
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, & Secretaría de Gestión de Riesgos. (2016). Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras, de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015. Guía de Diseño 5. Recuperado de: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/10/GUIA-5-EVALUACION-Y-REHABILITACION1.pdf>
- Minuto 30 S.A.S. (2019, March 7). Sociedad Colombiana de Ingenieros aconsejó al Invías no recibir el puente Higuera por presentar fisuras. Recuperado de: <https://www.minuto30.com/nacional/sociedad->

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **426** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

colombiana-de-ingenieros-aconsejo-al-invias-no-recibir-el-puente-hisgaura-por-presentar-fisuras/793714/

- Mogrovejo Carrasco, D. (2006). Evaluación y Diagnóstico de los pórticos del Puente Asunción.
- Mogrovejo Carrasco, D., & García, G. (2006). Evaluación y Diagnóstico de los pórticos del Puente Asunción. In Informe técnico.
- Monroy, R. (2007). Patologías En Estructuras De Hormigón Armado Aplicado a Marquesina Del Parque Saval. In Tesis para optar al título de: Ingeniero Civil en Obras Civiles. Universidad Austral de Chile. Recuperado de: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/bmfcim753p/doc/bmfcim753p.pdf>
- Montani, R. (2000). La carbonatación, enemigo olvidado del concreto. Construcción y Tecnología. Recuperado de: <http://www.imcyc.com/revista/2000/dic2000/carbonatacion.htm>
- Mosquera, O. (2017). El caso de la presa de Oroville. Patologías En Presas. Recuperado de: <https://www.eadic.com/patologias-en-presas-el-caso-de-la-presa-de-oroville/>
- Murillo Jiménez, C. G. (2004). Análisis de las causas que dieron origen a los daños estructurales, en las edificaciones del Estado de Puebla, provocados por el sismo del 15 de junio de 1999 [Universidad de las Américas Puebla.]. Recuperado de: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/murillo_j_cg/capitulo4.pdf
- National Ready Mixed Concrete Association. (2017). CIP 28 - Humedad de la losa de concreto. El Concreto En La Práctica. Recuperado de: <https://concretesupplyco.com/wp-content/uploads/2017/01/28pes.pdf>
- NEC-SE-CG. (2014). Cargas (No Sísmicas). In Norma Ecuatoriana de la Construcción.
- NEC-SE-DS. (2014). Peligro Sísmico Diseño Sismo Resistente.
- Neodex. (2016). Impact-Eco. Concrete Non Destructive Testing. Recuperado de: <http://neodexndt.com/es/impacto-eco/>
- Noon, R. K. (1992). Introduction to Forensic Engineering. CRC Press.
- Noon, R. K. (2001). Forensic Engineering Investigation. CRC Press.
- Norma Mexicana NMX C-169. (1997). Norma Mexicana NMX C-169-1997- ONNCCE.
- Notas de Concretos. (2011). Deterioro Concreto: Reactividad Alcali-Agregado. Recuperado de: <http://notasdeconcretos.blogspot.com/2011/04/deterioro-concreto-reactividad-alkali.html>
- Notas de Concretos. (2013). Resistencia al Congelamiento y Deshielo del Concreto. Recuperado de: http://notasdeconcretos.blogspot.com/2011/04/resistencia-al-congelamiento-y-deshielo_08.html
- NSR. (2010). Título A - Requisitos Generales de Diseño y Construcción Sismo Resistente. Ministerio Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, Título A, 1–174.
- NTCC. (2004). Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto. Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal.
- NTE INEN-ISO 2400. (2014). Ensayos no destructivos. Examen por ultrasonidos. Especificaciones relativas al bloque de calibración N°1. Norma Técnica Ecuatoriana.
- NTE INEN-ISO 7963. (2014). Ensayos no destructivos. Examen por ultrasonidos. Especificaciones para el bloque de calibración N°2. Norma Técnica Ecuatoriana.
- NTE INEN-ISO 9712. (2013). Ensayos no destructivos - Cualificación y Certificación de personal. Norma Técnica Ecuatoriana.
- NTE INEN 3121. (2016). Hormigón endurecido. Determinación del número de rebote. Método de ensayo. Norma Técnica Ecuatoriana.
- NTG 41017 h26. (2015). Método de ensayo. Resistencia a la extracción por deslizamiento (Pull-out) del concreto endurecido. Correspondencia. Norma Técnica Guatemalteca, 502.

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **427** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

- NTG 41017 h27. (2015). Método de ensayo. Medición de la velocidad de Onda-P y el espesor de placas de concreto utilizando el método Impacto-Eco (Impact-Echo). Norma Técnica Guatemalteca, 502, 1–23.
- NTG 41042. (2014). Práctica para la estimación de la resistencia del concreto por el método de la madurez. Norma Técnica Guatemalteca, 502. Recuperado de: https://conred.gob.gt/normas/NRD3/2_concreto/norma_ntg_41042_astm_c_1074-11.pdf
- Obras por Expansión. (2017). Fallas estructurales en columnas que debes identificar. Recuperado de: <https://obras.expansion.mx/construccion/2017/09/21/fallas-estructurales-en-columnas-que-debes-identificar>
- Omega. (2020). Termopar. ¿Qué Es Un Sensor Termopar? Recuperado de: <https://es.omega.com/prodinfo/termopares.html>
- Páez Moreno, D. F., Leal Moreno, V. E., & Restrepo Burgos, M. (2009). Influencia de los Ciclos Hielo-Deshielo en la Resistencia del Concreto (Caso Tunja). Revista Ingenierías Universidad de Medellín. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n15s1/v8n15s1a10.pdf>
- Palma Sellés, P. (2015). Aplicación de la termografía en auditorías energéticas de edificios. Recuperado de: <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/48918>
- Palomo, J. (2019). ¿Qué es una columna compuesta? Laminas y Aceros. Recuperado de: <https://blog.laminasyaceros.com/blog/tipos-de-columnas-de-acero>
- Pauta, G., Velasco, M., Gutiérrez, D., Vázquez, G., Rivera, S., Morales, Ó., & Abril, A. (2019). Evaluación de la calidad del agua de los ríos de la ciudad de Cuenca, Ecuador. Maskana, 76–88. Recuperado de: <https://doi.org/10.18537/mskn.10.02.08>
- Pellicer, V. (2014). Ensayos no destructivos en hormigón. Georadar y ultrasonidos. Recuperado de: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/35207/PROYECTO%20DEFINITIVO.pdf>
- Pérez Valcárcel, J. (2008). Patología producida por muros y pantallas. Recuperado de: https://www.udc.es/dep/dtcon/estructuras/ETSAC/Profesores/valcarcel/MaterMRHE-0809/2b-Patologia_muros_y_pantallas.pdf
- Porto Quintián, J. (2005). Capítulo 1 Patologías en las estructuras de hormigón armado [Universidade da Coruña.]. In Manual de patologías en las estructuras de hormigón armado. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/2183/13853>
- Prada, D. (2014). Evaluación de la presencia de carbonatación en puentes vehiculares de concreto, localidades de Usaquén y Fontibón. In Trabajo de grado para optar título de Ingeniero Civil. Universidad Católica de Colombia. Recuperado de: <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/1677>
- PROCEQ SA. (n.d.). Profometer and Profoscope rebar locators and concrete cover meters. Recuperado de: <https://www.proceq.com/compare/rebar-detection-and-cover-measurement/>
- PROCEQ SA. (2002). Haftprüfgerät Pull-off Tester.
- PROCEQ SA. (2008). Operating Instructions Ultrasonic Testing Instrument. Recuperado de: http://www.abmbv.nl/files/proceq_tico_user_manual_en.pdf
- PROCEQ SA. (2016). Manual de operación SilverSchmidt y Hammerlink. Recuperado de: https://www.proceq.com/uploads/tx_proceqproductcms/import_data/files/SilverSchmidt_Operating_Instructions_Spanish_high.pdf
- RILEM CPC-18. (1988). Measurement of hardened concrete carbonation depth. Materials and Structures, 21, 453–455.
- Roa Rodríguez, G., Aperador Chaparro, W., & Delgado Tobón, E. (2015). Diseño de sistema de monitoreo remoto para evaluación de la corrosión en estructuras de concreto reforzado sometidas a ion cloruro. Ingeniería, Investigación y Tecnología, 16(4), 565–572. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.riit.2015.09.008>

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **428** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

- Rocha, J. H. A., & Póvoas, Y. V. (2017). La termografía infrarroja como un ensayo no destructivo para la inspección de puentes de concreto armado: Revisión del estado del arte. Revista ALCONPAT, 7, 200–214. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-68352017000300200&script=sci_arttext
- Rt arquitectura. (n.d.). Tipos de fisuras y grietas en el hormigón. Recuperado de: <https://www.rtarquitectura.com/tipos-de-fisuras-y-grietas-en-el-hormigon/>
- Sanjuán Fernández, C. (2014). Carbonatación a fondo. Ensayo y determinación. Patología, Rehabilitación y Construcción. Recuperado de: <https://www.patologiasconstruccion.net/2014/05/carbonatacion-fondo-3-ensayo-y-determinacion-1-de-2/>
- Sanjuán Fernández, C. (2016). Corrosión galvánica. Patología, Rehabilitación y Construcción. Recuperado de: <https://www.patologiasconstruccion.net/2016/03/corrosion-galvanica/>
- Secretaría de Relaciones Exteriores. (2004). Guía Técnica Para La Elaboración De Manuales De Procedimientos Secretaria De Relaciones Exteriores. 41. Recuperado de: https://www.uv.mx/personal/fcastaneda/files/2010/10/guia_elab_manu_proc.pdf
- Sika. (2008). El concreto de hoy. Sika Informaciones Técnicas. Recuperado de: <https://col.sika.com/dms/getdocument.get/5402d44a-9e01-3cdd-ad3f-07d42610f87c/El Concreto de Hoy -2012.pdf>
- Sika Ecuatoriana S.A. (2007). Rehabilitación y Reforzamiento del Puente La Asunción. Detalles de La Reparación.
- Silva, O. J. (2020). Patologías más comunes en muros de contención de concreto. Recuperado de: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/patologias-muros-contencion-concreto>
- Solinjection. (2014). Tratamiento de arcillas. Soluciones. Recuperado de: <http://www.solinjection.es/solutions/tratamiento-de-arcillas.html>
- Square it inmobiliaria. (2014). Que son los asentamientos y sus consecuencias. Recuperado de: <http://squareitinmobiliaria.blogspot.com/2014/10/que-son-los-asentamientos-y-sus.html>
- Suárez, J. (2020). Interpretación de resultados de GPR - Georadar. Las Técnicas Geofísicas En El Análisis de Geotecnia. Recuperado de: <http://www.erosion.com.co/60-cursos/las-tecnicas-geofisicas-en-el-analisis-de-geotecnia/204-interpretacion-de-resultados-gpr-georadar.html>
- Suárez, L. (2020). El problema del golpeteo entre dos estructuras. Recuperado de: <https://www.uprm.edu/riseup/wp-content/uploads/sites/223/2020/02/Golpeteo.pdf>
- Sun, Y., Huang, P., Su, J., & Wang, T. (2018). Depth estimation of surface-opening crack in concrete beams using impact-echo and non-contact video-based methods. Eurasip Journal on Image and Video Processing, 2018(1). Recuperado de: <https://doi.org/10.1186/s13640-018-0382-7>
- Termagraf. (n.d.). La termografía en edificación. Recuperado de: <https://www.termagraf.com/termografia/edificacion/>
- Toirac Corral, J. (2004). Patología de la construcción. Grietas y Fisuras en obras de hormigón. Origen y prevención. Ciencia y Sociedad, 29(1), 72–114. Recuperado de: <https://doi.org/10.22206/cys.2004.v29i1.pp72-114>
- Torres, A. A., Pérez, J. T., Ramírez, A. J., & Martínez, M. (2006). Estudio de la corrosión en barras de acero inoxidable en concreto contaminado por cloruros cuando se le aplican esfuerzos residuales. Recuperado de: <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt287.pdf>
- Torres, A., Ramos-Cañón, A., Prada-Sarmiento, F., & Botía-Díaz, M. (2016). Comportamiento mecánico de juntas frías lisas de concreto. Revista Ingeniería de Construcción, 31(3), 151–162. Recuperado de: <https://doi.org/10.4067/s0718-50732016000300001>
- Toxement. (2017a). Eflorescencias del concreto. Recuperado de: https://www.toxement.com.co/media/3396/eflorescencias_concreto.pdf

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **429** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

- Toxement. (2017b). Guía de Reparación de Hormigueros. Recuperado de: <https://www.toxement.com.co/media/3415/reparacio-n-de-hormigueros.pdf>
- Tritan Diamond Tools. (2017). Broca Sacanúcleos. Taladro Sacanúcleos. Recuperado de: <https://www.brocasacanucleos.com/>
- UNAM. (1994). Guía Técnica para la Elaboración de Manuales de Procedimientos.
- UNE-EN 13187. (1998). Prestaciones térmicas de edificios. Detección cualitativa de irregularidades en cerramientos de edificios. Método de infrarrojos. Recuperado de: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0023687>
- UNE-EN 14630. (2007). Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón. Métodos de ensayo. Determinación de la profundidad de carbonatación en un hormigón endurecido por el método de la fenolftaleína. Norma Española.
- Vásquez, C. A., & Vásquez, C. A. (2017). Análisis de patologías en la plataforma de rieles del proyecto Tranvía cuatro ríos de Cuenca. In Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil. Universidad de Cuenca. Recuperado de: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28572>
- Vega, L., & Burón, M. (2007). Seguridad frente al fuego de las estructuras de hormigón. Hormigón y Concreto, No 899(Marzo 2007), 44–51. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2254661>
- Vidaud, E., & Vidaud, I. (2012). La carbonatación en el concreto reforzado. Revista CYTC, 20–23. Recuperado de: <http://www.imcyc.com/revistacyt/enero2013/pdfs/ingenieria.pdf>
- Vidaud, E., & Vidaud, I. (2014). Prueba de “Pull Off” para evaluar la adherencia de los materiales de reparación en concreto. Construcción y Tecnología En Concreto, 3.
- Villagómez, L. (2016). Predicción de la resistencia a la compresión del hormigón mediante métodos de ensayo no destructivo para hormigones convencionales en Pichincha, Ecuador. In Trabajo de titulación presentado como requisito para la obtención del título de Ingeniero Civil. Universidad San Francisco de Quito. Recuperado de: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/5986/1/129201.pdf>
- Viñau Ena, N. (2016). ¿Qué opinas? Estos son algunos de los edificios más feos de España. Recuperado de: <https://decoracion.tendencias.com/otros-espacios/que-opinas-estos-son-algunos-de-los-edificios-mas-feos-de-espana>
- Vizuete, V. (2016, April 23). La mala construcción, un agravante del sismo. El Comercio. Recuperado de: <https://www.elcomercio.com/tendencias/malaconstruccion-agravante-sismo-ecuador-pedernales.html>
- Wikilibros. (2006). Lesiones y Disgregación. Patología de La Edificación. Recuperado de: [https://es.wikibooks.org/wiki/Patología de la edificaci3n/Estructuras de hormig3n/Lesiones/Disgregaci3n](https://es.wikibooks.org/wiki/Patología_de_la_edificaci3n/Estructuras_de_hormig3n/Lesiones/Disgregaci3n)




UNIVERSIDAD DE CUENCA

6.4. PLANTILLAS

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **431** de **473**

 UNIVERSIDAD DE CUENCA Facultad de Ingeniería		MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI- DESTRUCTIVOS		CÓDIGO END01_PP
INSTITUCIÓN		HORA	FECHA	
PROYECTO				
UBICACIÓN		ZONA SÍSMICA		
PESOS PATOLOGÍAS				
Variable		Peso (%)		
Agrietamientos en elementos estructurales				
Fisuras en mampostería				
Deformaciones y desviaciones visibles				
Asentamientos en la cimentación				
Nivel freático				
Patologías por efecto humano				
Patologías de materiales				
Corrosión del acero de refuerzo				
Humedad relativa				
Temperatura				
Tipo de agua presente				
Sustancias agresivas y concentración				
Problemas ocultos				
Fuego				
Viento				
Sismos				
Vibraciones no naturales				
Inundaciones				
Expansión del suelo				
Empuje del suelo				
Modificaciones de elementos estructurales				
Modificaciones de uso de la estructura				
Incumplimiento de especificaciones técnicas				
Actualización de normas				
Total		100		



UNIVERSIDAD DE CUENCA


Instrucción de llenado en plantilla

Referencia	Debe anotarse
Institución	Nombre la empresa o entidad para la que se realiza el ensayo. Ejemplo: (Universidad de Cuenca)
Proyecto	Nombre del trabajo o actividad que se está realizando. Ejemplo: (Evaluación Patológica del puente Sixto Durán-Ballén)
Ubicación	Lugar en donde se lleva a cabo el ensayo. Ejemplo: (Autopista Cuenca-Azogues)
Fecha	Día en que se realiza en ensayo. Ejemplo: (26/11/2020)
Hora	Hora en la que se ensaya. Ejemplo: (15:37)
Zona Sísmica	Zona sísmica en la que se encuentra la estructura. (Gráfico 106) Ejemplo: (Zona II)
Peso (%)	Cada variable tendrá su propio peso, de acuerdo a la importancia considerada. Al final deben sumar 100%. Ejemplo: (5)
Realizó	Nombre de la persona encargada de realizar el ensayo. Se puede incluir la firma. Ejemplo: (Juan Vanegas)
Aprobó	Nombre del encargado de aprobar los valores obtenidos en el ensayo. Ejemplo: (Mateo Ortega)

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **433** de **473**

 UNIVERSIDAD DE CUENCA Facultad de Ingeniería		MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-DESTRUCTIVOS		CÓDIGO END01_FD
INSTITUCIÓN		HORA		FECHA
PROYECTO				
UBICACIÓN		ZONA SÍSMICA		
FASE PRELIMINAR				
Variable		Sí	No	Observaciones
Tipo de estructura				
Tipo de cimentación				
Sistema estructural				
Irregularidades				
Diseños estructurales no recomendados				
Diseñadores				
Arquitecto				
Ingeniero de suelos				
Ingeniero estructural				
Ingeniero asesor de materiales				
Especificaciones del proyecto				
Constructor				
Fiscalizador				
Proveedor de materiales				
Historial de la estructura				
Fechas de diseño y cumplimiento de normas				
Construcción y puesta en servicio				
Vida útil proyectada				
Área construida				
Propietarios y usos				
Registros de actividad sísmica, actividad geológica y estudios de suelos				
Información sobre el funcionamiento, ocupación y límites de carga				
Planes de alteración y órdenes de cambio				
Revisión del proyecto original y registros de construcción				
Planos de diseño, especificaciones y cálculos				
Libro de obra				
Colocación de armadura de concreto				
Códigos de construcción				
Materiales de construcción y datos de ensayo				
Control de calidad e informes de inspección en campo				
Fotografías del proceso constructivo				
Calidad del diseño y la construcción de la estructura original				

Realizó

Aprobó



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Instrucción de llenado en plantilla


Referencia	Debe anotarse									
Institución	Nombre la empresa o entidad para la que se realiza el ensayo. Ejemplo: (Universidad de Cuenca)									
Proyecto	Nombre del trabajo o actividad que se está realizando. Ejemplo: (Evaluación Patológica del puente Sixto Durán-Ballén)									
Ubicación	Lugar en donde se lleva a cabo el ensayo. Ejemplo: (Autopista Cuenca-Azogues)									
Fecha	Día en que se realiza en ensayo. Ejemplo: (26/11/2020)									
Hora	Hora en la que se ensaya. Ejemplo: (15:37)									
Zona Sísmica	Zona sísmica en la que se encuentra la estructura. (Gráfico 106) Ejemplo: (Zona II)									
Sí o No	Una "X" para determinar si se consiguió o no los documentos o datos requeridos. Ejemplo: (Se consigue información sobre el tipo de cimentación)									
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Variable</th><th>Sí</th><th>No</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">Tipo de estructura</td></tr> <tr> <td>Tipo de cimentación</td><td style="text-align: center;">✕</td><td></td></tr> </tbody> </table>	Variable	Sí	No	Tipo de estructura			Tipo de cimentación	✕	
Variable	Sí	No								
Tipo de estructura										
Tipo de cimentación	✕									
Observaciones	Se presenta el dato de la variable, por ejemplo: Nombre de los diseñadores, El área de construcción, Vida útil, Irregularidades. Ejemplo: (Zapatas aisladas, 2x2m e=0.3m)									
Calidad de diseño y la construcción de la estructura original	Considerando las irregularidades que puede presentar la estructura o diseños no recomendados, se debe clasificar la calidad como buena, regular o mala. Ejemplo: (Mala)									
Realizó	Nombre de la persona encargada de realizar el ensayo. Se puede incluir la firma. Ejemplo: (Juan Vanegas)									
Aprobó	Nombre del encargado de aprobar los valores obtenidos en el ensayo. Ejemplo: (Mateo Ortega)									

**En el informe preliminar se pueden anexar los documentos recopilados.*

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **435** de **473**

 <div> UNIVERSIDAD DE CUENCA Facultad de Ingeniería </div>	MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI- DESTRUCTIVOS				CÓDIGO	
					END01	
INSTITUCIÓN					HORA	FECHA
PROYECTO						
UBICACIÓN					ZONA SÍSMICA	
INSPECCIÓN VISUAL						
Variable	Sí	No	Observaciones	Bueno	Regular	Malo
Agrietamientos en elementos estructurales						
Fisuras en mampostería						
Deformaciones y desviaciones visibles						
Asentamientos en la cimentación						
Nivel freático						
Geometría y materiales estructurales						
Patologías por efecto humano						
Patologías de materiales						
Corrosión del acero de refuerzo						
Condiciones ambientales						
Humedad relativa						
Temperatura						
Tipo de agua presente						
Sustancias agresivas y concentración						
Problemas ocultos						
Condiciones de exposición especiales						
Fuego						
Viento						
Sismos						
Vibraciones no naturales						
Inundaciones						
Expansión del suelo						
Empuje del suelo						
Verificación de la construcción conforme a obra						
Modificaciones de elementos estructurales						
Modificaciones de uso de la estructura						
Incumplimiento de especificaciones técnicas						
Actualización de normas						
Total						
Estado de la estructura						



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Instrucción de llenado en plantilla

Referencia	Debe anotarse						
Institución	Nombre la empresa o entidad para la que se realiza el ensayo. Ejemplo: (Universidad de Cuenca)						
Proyecto	Nombre del trabajo o actividad que se está realizando. Ejemplo: (Evaluación Patológica del puente Sixto Durán-Ballén)						
Ubicación	Lugar en donde se lleva a cabo el ensayo. Ejemplo: (Autopista Cuenca-Azogues)						
Fecha	Día en que se realiza en ensayo. Ejemplo: (26/11/2020)						
Hora	Hora en la que se ensaya. Ejemplo: (15:37)						
Zona Sísmica	Zona sísmica en la que se encuentra la estructura. (Gráfico 106) Ejemplo: (Zona II)						
Sí o No	Una "X" para determinar si existen datos sobre las patologías. Ejemplo: (Existen agrietamientos en elementos estructurales) <table><thead><tr><th>Variable</th><th>Sí</th><th>No</th></tr></thead><tbody><tr><td>Agrietamientos en elementos estructurales</td><td>X</td><td></td></tr></tbody></table>	Variable	Sí	No	Agrietamientos en elementos estructurales	X	
Variable	Sí	No					
Agrietamientos en elementos estructurales	X						
Observaciones							
Agrietamientos en elementos estructurales	La ubicación y presencia de agrietamientos importantes en elementos estructurales. (Sección 2.6) Ejemplo: (Grieta en viga 1)						
Fisuras en mampostería	La ubicación y presencia de fisuras en muros de mampostería. (Secciones 2.2 y 2.3) Ejemplo: (Fisuración en cara interna del muro)						
Deformaciones y desviaciones visibles	Deformaciones de elementos estructurales y sus posibles causas (Secciones 2.2, 2.6 y 2.8.1). Ejemplo: (Losa de cimentación con deformación excesiva, debido a asentamientos diferenciales)						
Asentamientos en la cimentación	Presencia de asentamientos diferenciales. (Sección 2.8.1) Ejemplo: (Asentamiento diferencial de 5cm en la esquina)						
Nivel freático	Nivel de agua por debajo de la superficie. (Sección 2.3) Ejemplo: (N.F. 2m debajo de la superficie)						
Patologías por efecto humano	Mal diseño o mala construcción de los elementos estructurales. (Sección 2.1) Ejemplo: (Columna corta)						
Patologías de materiales	Materiales de mala calidad. (Sección 2.8.4) Ejemplo: (Áridos sucios, Agua de mar)						
Corrosión del acero de refuerzo	Presencia de corrosión en elementos estructurales. (Sección 2.5) Ejemplo: (Corrosión en las varillas de la columna 1)						
Humedad relativa	Humedad del lugar y si esto ha causado problemas en la estructura. (Sección 2.3) Ejemplo: (Humedad relativa del 50% causando delaminación de paredes por capilaridad)						
Temperatura	Temperatura promedio del lugar y consecuencias en la estructura. (Sección 2.2) Ejemplo: (Cambios bruscos de temperatura, causando cambio de volumen en la viga)						

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página 437 de 473



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Tipo de agua presente	El origen del agua que tiene contacto con la estructura, de ser posible, evaluando su composición. (Sección 2.4) Ejemplo: (Aguas residuales por tubería rota, con alto contenido de sulfatos)
Sustancias agresivas y concentración	Sulfatos, cloruros, dióxido de carbono que estén presentes en el agua con una concentración elevada. (Sección 2.4) Ejemplo: (Presencia de una cantidad considerable de cloruros en el agua)
Problemas ocultos	Problemas que no pueden ser apreciados a simple vista. (Sección 2.3) Ejemplo: (Fugas de agua debajo de las losas)
Fuego	Cuando la estructura fue sometida a incendios, se debe evaluar la condición en base a la sección 2.2.6. Ejemplo: (Elementos amarillentos o marrón-rojizo, Acero de refuerzo expuesto y con presencia de óxido)
Viento	Presencia importante de viento. Ejemplo: (Vientos fuertes)
Sismos	Evaluación de la estructura cuando ha sido sometida a acciones sísmicas (Sección 2.7) Ejemplo: (Desprendimiento de hormigón por golpeteo entre estructuras)
Vibraciones no naturales	Vibraciones de industrias que afecten a la estructura. Ejemplo: (Presencia de cementera cercana a la estructura)
Inundaciones	Daños en la estructura por presencia de humedad excesiva. Ejemplo: (Erosión del recubrimiento de hormigón, Superficies lisas)
Expansión del suelo	Problema generado por arcillas expansivas. (Sección 2.8.2) Ejemplo: (Grietas por expansión en muros)
Empuje del suelo	Falla de los muros exteriores que soportan la carga del suelo. (Sección 2.8.3) Ejemplo: (Volcamiento del muro)
Modificaciones de elementos estructurales	Reducción o eliminación de elementos sin un estudio estructural previo. (Sección 2.7.6) Ejemplo: (Remoción de una columna para aumentar el espacio)
Modificaciones de uso de la estructura	Cuando una estructura es usada para soportar cargas mayores a la que fue diseñada. Ejemplo: (La estructura se usaba como bodega, pero fue diseñado como oficinas)
Incumplimiento de especificaciones técnicas	Incumplimiento en recubrimientos, diámetros de varillas, secciones de elementos estructurales. Ejemplo: (La columna 2 tiene un recubrimiento de 1 cm)
Actualización de normas	Cuando una estructura no cumple con las normas actualizadas, aunque en su momento cumplía con las normas de la época. Ejemplo: (El recubrimiento no cumple con la norma actual)
Bueno	En caso de marcar con una "X" en la casilla No : Este espacio no debe ser llenado o debe ser dejado en blanco. En caso de marcar con una "X" en la casilla Sí : Si se considera que la condición de la estructura es buena se coloca el peso en porcentaje dado en la Tabla 23 o los valores llenados en la PLANTILLA: PESOS PATOLOGÍAS. Ejemplo: (5)
Regular	En caso de marcar con una "X" en la casilla No : Este espacio no debe ser llenado o debe ser dejado en blanco. En caso de marcar con una "X" en la casilla Sí :

Vigencia desde:	Página 438 de 473
Marzo-2021	




UNIVERSIDAD DE CUENCA

	Si se considera que la condición de la estructura es regular se coloca el peso en porcentaje dado en la Tabla 23 o los valores llenados en la PLANTILLA: PESOS PATOLOGÍAS. Ejemplo: (5)
Malo	En caso de marcar con una "X" en la casilla No : Este espacio no debe ser llenado o debe ser dejado en blanco. En caso de marcar con una "X" en la casilla Sí : Si se considera que la condición de la estructura es mala se coloca el peso en porcentaje dado en la Tabla 23 o los valores llenados en la PLANTILLA: PESOS PATOLOGÍAS. Ejemplo: (5)
Total	Se suman los pesos de cada variable en las columnas, obteniendo un peso total de las columnas "Bueno", "Regular" y "Malo". Ejemplo: (0.3)
Estado de la estructura	Se toma la columna a la que pertenezca el valor mayor obtenido en las celdas de "Total". Con eso se puede determinar la condición de la estructura. Ejemplo: (Malo)
<i>*En el informe preliminar se pueden anexar fotografías que muestren las patologías.</i>	

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **439** de **473**

 UNIVERSIDAD DE CUENCA Facultad de Ingeniería		MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-DESTRUCTIVOS			CÓDIGO
					END02
INSTITUCIÓN		HORA		FECHA	
PROYECTO					
UBICACIÓN					
ENSAYO DE DETECCIÓN DE ARMADURAS					
Elemento		Ubicación		Recubrimient o (cm)	
Diagrama de varillas					
Observaciones					
Elemento		Ubicación		Recubrimient o (cm)	
Diagrama de varillas					
Observaciones					

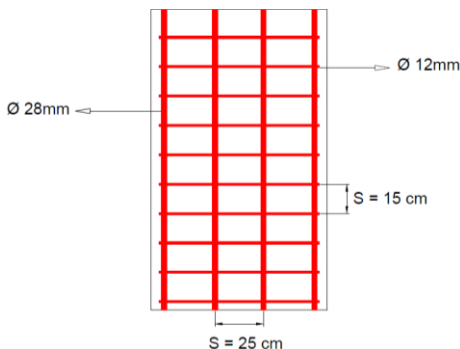
Realizó

Aprobó



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Instrucción de llenado en plantilla


Referencia	Debe anotarse
Institución	Nombre la empresa o entidad para la que se realiza el ensayo. Ejemplo: (Universidad de Cuenca)
Proyecto	Nombre del trabajo o actividad que se está realizando. Ejemplo: (Evaluación Patológica del puente Sixto Durán-Ballén)
Ubicación	Lugar en donde se lleva a cabo el ensayo. Ejemplo: (Autopista Cuenca-Azogues)
Fecha	Día en que se realiza en ensayo. Ejemplo: (26/11/2020)
Hora	Hora en la que se ensaya. Ejemplo: (15:37)
Elemento	Nombre del elemento de la estructura. Se puede agregar numeración o código. Ejemplo: (Columna 1)
Ubicación	Zona del elemento donde se realiza el ensayo. Ejemplo: (Cara exterior)
Recubrimiento (cm)	El recubrimiento que tiene el elemento estructural en estudio. Puede conseguirse de planos de diseño o del equipo, dependiendo de la capacidad del mismo. Ejemplo: (4)
Diagrama de varillas	<p>Un esquema donde se indique la ubicación de las varillas con respecto al elemento estructural. Se puede incorporar el diámetro de los aceros de refuerzo y la separación que existe entre los mismos. Ejemplo:</p> 
Observaciones	Cualquier anomalía que se presente en el ensayo. Ejemplo: (Inclinación considerable de barra de refuerzo, Presencia de metales extras, Corrosión del acero; Refuerzos con poca separación.)
Realizó	Nombre de la persona encargada de realizar el ensayo. Se puede incluir la firma. Ejemplo: (Juan Vanegas)
Aprobó	Nombre del encargado de aprobar los valores obtenidos en el ensayo. Ejemplo: (Mateo Ortega)

**Para el informe final o presentación se pueden anexar fotografías que muestren el proceso realizado en el ensayo.*

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **441** de **473**

 <div>UNIVERSIDAD DE CUENCA Facultad de Ingeniería</div>			MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-DESTRUCTIVOS			CÓDIGO
						END03
INSTITUCIÓN					HORA	FECHA
PROYECTO						
UBICACIÓN						
ENSAYO GPR PARA EVALUACIÓN DEL CONCRETO						
Elemento			Recubrimiento (cm)		Espesor losa (cm)	
Diagrama de varillas						
Velocidad de propagación						
Permitividad conocida			Permitividad no conocida			
Material	K	Vm (m/s)	D (m)	t (s)	Vm (m/s)	Material
Observaciones						

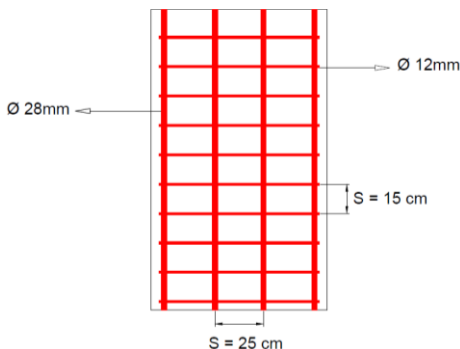
Realizó

Aprobó



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Instrucción de llenado en plantilla

Referencia	Debe anotarse
Institución	Nombre la empresa o entidad para la que se realiza el ensayo. Ejemplo: (Universidad de Cuenca)
Proyecto	Nombre del trabajo o actividad que se está realizando. Ejemplo: (Evaluación Patológica del puente Sixto Durán-Ballén)
Ubicación	Lugar en donde se lleva a cabo el ensayo. Ejemplo: (Autopista Cuenca-Azogues)
Fecha	Día en que se realiza en ensayo. Ejemplo: (26/11/2020)
Hora	Hora en la que se ensaya. Ejemplo: (15:37)
Elemento	Nombre del elemento de la estructura. Se puede agregar numeración o código. Ejemplo: (Columna 1)
Recubrimiento (cm)	El recubrimiento que tiene el elemento estructural en estudio. Puede conseguirse de planos de diseño o del equipo, dependiendo de la capacidad del mismo. Ejemplo: (4)
Espesor de losa (cm)	Espesor obtenido con el equipo, mediante el proceso explicado en la sección 3.3.6.1.1. Ejemplo: (20)
Diagrama de varillas	<p>Un esquema donde se indique la ubicación de las varillas con respecto al elemento estructural. Se puede incorporar el diámetro de los aceros de refuerzo y la separación que existe entre los mismos. Ejemplo:</p> 
Velocidad de propagación	
Permitividad conocida	<p>Estas casillas se deben llenar cuando se tiene el valor de la permitividad relativa del material. En caso de no conocer el valor de "K", pasar a la siguiente sección: "Permitividad no conocida".</p> <ul style="list-style-type: none"> Material: Material conocido. Ejemplo: (Arcilla saturada) K: Permitividad relativa conocida del material. Ejemplo: (10) V_m (m/s): Velocidad de propagación calculada con la Ecuación 2. Ejemplo: (9.5×10^7)

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **443** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Permitividad no conocida	<p>Estas casillas se deben llenar cuando no se conoce el valor de la permitividad relativa del material.</p> <ul style="list-style-type: none"> • D (m): Profundidad medida con el equipo. Ejemplo: (2) • t (sg): Tiempo de viaje bidireccional obtenido con el equipo. Ejemplo: (2.5×10^{-8}) • Vm (m/s): Velocidad de propagación calculada con la Ecuación 3. Ejemplo: (1.6×10^8) • Material: El material estimado, comparando con los valores de referencia dados en la Tabla 26. Tener en cuenta la conversión de unidades. En el ejemplo 0.16m/Ns. Ejemplo: (Asfalto)
Observaciones	<p>Los resultados obtenidos con el equipo y comparados con la sección 3.3.7.2. Ejemplo: (Tubería ubicada a 20cm; Corrosión en los aceros de refuerzo ubicados en la losa; El espesor de las capas del suelo encontradas)</p>
Realizó	<p>Nombre de la persona encargada de realizar el ensayo. Se puede incluir la firma. Ejemplo: (Juan Vanegas)</p>
Aprobó	<p>Nombre del encargado de aprobar los valores obtenidos en el ensayo. Ejemplo: (Mateo Ortega)</p>
<p><i>*Para el informe final o presentación se pueden anexar fotografías que muestren el proceso realizado en el ensayo.</i></p>	

Vigencia desde:	Página 444 de 473
Marzo-2021	

<div><div>UNIVERSIDAD DE CUENCA Facultad de Ingeniería</div></div>		MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-DESTRUCTIVOS				CÓDIGO
						END04
INSTITUCIÓN					HORA	FECHA
PROYECTO						
UBICACIÓN						
EQUIPO						
ENSAYO DE TERMOGRAFÍA INFRARROJA						
CONDICIONES CLIMÁTICAS						
Parámetro	Valor	Unidad	Parámetro		Valor	Unidad
Humedad relativa		%	Temperatura interior inicial			°C
Temperatura inicial		°C	Temperatura interior final			°C
Temperatura atmosférica		°C	Diferencia temperatura interior			°C
Diferencia de temperatura		°C	Temperatura exterior inicial			°C
Velocidad del viento		Km/h	Temperatura exterior final			°C
Orientación del viento		-	Diferencia temperatura exterior			°C
Observaciones						
COMPENSACIÓN DE IMÁGENES TÉRMICAS (EVALUACIÓN CUANTITATIVA)						
Prueba	Objeto	Distancia al Objeto (m)	Material	Emisividad (ε)	Temperatura del Objeto (°C)	Temperatura Aparente Reflejada (°C)
Observaciones						

Realizó _____

Aprobó _____



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Instrucción de llenado en plantilla

Referencia	Debe anotarse
Institución	Nombre de la empresa o entidad para la que se realiza el ensayo. Ejemplo: (Universidad de Cuenca)
Proyecto	Nombre del trabajo o actividad que se está realizando. Ejemplo: (Evaluación Patológica del puente Sixto Durán-Ballén)
Ubicación	Lugar en donde se lleva a cabo el ensayo. Ejemplo: (Autopista Cuenca-Azogues)
Equipo	Tipo de cámara termográfica utilizada en el ensayo, modelo y número de serie. Ejemplo: (Flir T640, S4362)
Fecha	Día en que se realiza en ensayo. Ejemplo: (26/11/2020)
Hora	Hora en la que se ensaya. Ejemplo: (05:37)
Humedad relativa	Humedad medida con el termohigrómetro u otro equipo utilizado. Ejemplo: (50)
Temperatura inicial	Temperatura medida, con el termohigrómetro, al momento de la inspección previa. Ejemplo: (10)
Temperatura atmosférica	Temperatura al momento de realizar el ensayo, medida con el termohigrómetro. Ejemplo: (7)
Diferencia de temperatura	El valor absoluto de la diferencia entre la temperatura atmosférica y la temperatura inicial. Esta diferencia no deberá ser mayor a 10, en caso de superar este valor se debe cambiar la fecha del ensayo. Ejemplo: (3)
Velocidad del viento	Velocidad medida del viento al momento del ensayo. Ejemplo: (35)
Orientación del viento	Dirección en la que se mueve el viento, tomando como referencia los puntos cardinales. Ejemplo: (NE)
Temperatura interior inicial	Temperatura medida al interior de la envolvente, al momento de iniciar el ensayo. Ejemplo: (18)
Temperatura interior final	Temperatura medida al interior de la envolvente, al momento de finalizar el ensayo. Ejemplo: (19)
Diferencia temperatura interior	El valor absoluto de la diferencia entre la temperatura interior inicial y la temperatura interior final. Esta diferencia no deberá ser mayor a 2, en caso de ser mayor no se debe considerar este ensayo. Ejemplo: (1)
Temperatura exterior inicial	Temperatura medida al exterior de la envolvente, al momento de iniciar el ensayo. Ejemplo: (7)
Temperatura exterior final	Temperatura medida al exterior de la envolvente, al momento de finalizar el ensayo. Ejemplo: (10)

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **446** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Diferencia temperatura exterior	El valor absoluto de la diferencia entre la temperatura exterior inicial y la temperatura exterior final. Esta diferencia no deberá ser mayor a 5, en caso de ser mayor no se debe considerar este ensayo. Ejemplo: (3)
Observaciones	Velocidad del viento muy fuerte; Fuentes de calor cercanas; Diferencias de temperaturas mayores a los rangos establecidos. Ejemplo: (La velocidad del viento es de 60 Km/h; Existe sistema de calefacción cercanos a la envolvente; La diferencia de temperatura interior fue de 8°C, por lo tanto, no se considera válido el ensayo.)
Prueba	Procedimiento realizado para la compensación de imágenes térmicas, como se indica en la sección 3.4.6.2. Ejemplo: (Emisividad del objeto)
Objeto	El objeto del cual se requiere conocer sus propiedades térmicas. Ejemplo: (Ventana)
Distancia al Objeto (m)	Distancia a la cual se coloca la cámara con respecto al objeto en estudio. Ejemplo: (2m)
Material	Material utilizado para realizar la compensación de imágenes térmicas. Ejemplo: (Cinta aislante)
Emisividad (ϵ)	Valor conocido de la emisividad del material que se utiliza. Ejemplo: (0.96)
Temperatura del Objeto (°C)	Temperatura real del objeto, obtenida como se indica en la sección 3.4.6.2.1. Ejemplo: (25)
Temperatura Aparente Reflejada(°C)	Temperatura obtenida de acuerdo al proceso de la sección 3.4.6.2.3. Ejemplo: (20)
Observaciones	Anomalías detectadas para la elaboración del informe. Ejemplo: (Fuga de aire; fuga de agua; puentes térmicos.)
Realizó	Nombre de la persona encargada de realizar el ensayo. Se puede incluir la firma. Ejemplo: (Juan Vanegas)
Aprobó	Nombre del encargado de aprobar los valores obtenidos en el ensayo. Ejemplo: (Mateo Ortega)
<i>*Para el informe final o presentación se deben anexar los termogramas obtenidas con la cámara termográfica.</i>	

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **447** de **473**



**MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN
PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN
ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE
ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-
DESTRUCTIVOS**

CÓDIGO

END05

INSTITUCIÓN

HORA**FECHA**

PROYECTO

UBICACIÓN

ENSAYO DE POTENCIAL DE CORROSIÓN

[illegible]**Realizó**

Aprobó



UNIVERSIDAD DE CUENCA


Instrucción de llenado en plantilla

Referencia	Debe anotarse
Institución	Nombre de la empresa o entidad para la que se realiza el ensayo. Ejemplo: (Universidad de Cuenca)
Proyecto	Nombre del trabajo o actividad que se está realizando. Ejemplo: (Evaluación Patológica del puente Sixto Durán-Ballén)
Ubicación	Lugar en donde se lleva a cabo el ensayo. Ejemplo: (Autopista Cuenca-Azogues)
Fecha	Día en que se realiza el ensayo. Ejemplo: (26/11/2020)
Hora	Hora en la que se ensaya. Ejemplo: (15:37)
N° Ensayo	Enumeración de la prueba, sirve para tener una referencia del mismo.
Elemento	Nombre del elemento de la estructura. Se puede agregar numeración o código. Ejemplo: (Columna 1)
Ubicación	Zona del elemento donde se realiza el ensayo. Ejemplo: (Cara exterior)
Lectura (mV)	El valor obtenido en el voltímetro con una precisión de 10mV. Ejemplo: (-350)
Probabilidad corrosión	Probabilidad de corrosión obtenida de la Tabla 27 o Tabla 28 (Dependiendo del criterio de la sección 3.5.7.1). Ejemplo: (50%)
Condición	Estado del avance de corrosión de la armadura, encontrado en la Tabla 29 de la sección 3.5.7.1. Ejemplo: (20)
Observaciones	El método de pre-humedecimiento (Paso 8 de la sección 3.5.6) o factores que afecten al ensayo. Ejemplo: (Superficie humedecida, Temperaturas extremas)
Realizó	Nombre de la persona encargada de realizar el ensayo. Se puede incluir la firma. Ejemplo: (Juan Vanegas)
Aprobó	Nombre del encargado de aprobar los valores obtenidos en el ensayo. Ejemplo: (Mateo Ortega)
<i>*Para el informe final o presentación se pueden anexar fotografías que muestren el proceso realizado en el ensayo.</i>	

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **449** de **473**

 UNIVERSIDAD DE CUENCA Facultad de Ingeniería			MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-DESTRUCTIVOS						CÓDIGO	
									END06	
INSTITUCIÓN									FECHA	HORA
PROYECTO										
UBICACIÓN										
ENSAYO DE ULTRASONIDO - TRANSMISIÓN SEMI DIRECTA Y DIRECTA										
Elemento	N° Ensayo	Ubicación	Tipo transmisión	Tiempo (μs)	Distancia (cm)	Velocidad (Km/s)	Promedio (m/s)	Calidad	Observaciones	

Realizó

Aprobó



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Instrucción de llenado en plantilla


Referencia	Debe anotarse
Institución	Nombre de la empresa o entidad para la que se realiza el ensayo. Ejemplo: (Universidad de Cuenca)
Proyecto	Nombre del trabajo o actividad que se está realizando. Ejemplo: (Evaluación Patológica del puente Sixto Durán-Ballén)
Ubicación	Lugar en donde se lleva a cabo el ensayo. Ejemplo: (Autopista Cuenca-Azogues)
Fecha	Día en que se realiza en ensayo. Ejemplo: (26/11/2020)
Hora	Hora en la que se ensaya. Ejemplo: (15:37)
Elemento	Nombre del elemento de la estructura. Se puede agregar numeración o código. Ejemplo: (Columna 1)
N° Ensayo	Enumeración de la prueba, sirve para tener una referencia del mismo.
Ubicación	Zona del elemento donde se realiza el ensayo. Ejemplo: (Cara exterior)
Tipo de transmisión	El tipo de transmisión que se utiliza, pueden ser Semidirecta o Directa. Ejemplo: (Directa)
Tiempo (μs)	Tiempo de tránsito del pulso; marcado por el equipo al momento de realizar el ensayo. Ejemplo: (96.8)
Distancia (cm)	Espacio entre los puntos medios de los transductores. Ejemplo: (20)
Velocidad (Km/s)	Cálculo de la velocidad utilizando la Ecuación 4 mostrada en la sección 3.6.7.1.1. Cumpliendo con las unidades mostradas en la misma. Ejemplo: (2.78)
Promedio (m/s)	Promedio de las tres lecturas realizadas para cada elemento de la estructura. Transformando de Km/s a m/s para comparar con las tablas establecidas. Ejemplo: (2770)
Calidad	Condición del hormigón, comparando el valor promedio calculado con las tablas de la sección 3.6.7.3. Ejemplo: (Buena)
Observaciones	Factores que pueden afectar a los datos obtenidos. Ejemplo: (Humedad, Presencia acero de refuerzo, Temperaturas extremas)
Realizó	Nombre de la persona encargada de realizar el ensayo. Se puede incluir la firma. Ejemplo: (Juan Vanegas)
Aprobó	Nombre del encargado de aprobar los valores obtenidos en el ensayo. Ejemplo: (Mateo Ortega)

**Para el informe final o presentación se pueden anexar fotografías que muestren el proceso realizado en el ensayo.*

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **451** de **473**

 UNIVERSIDAD DE CUENCA Facultad de Ingeniería			MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-DESTRUCTIVOS					CÓDIGO		
								END06		
INSTITUCIÓN								FECHA	HORA	
PROYECTO										
UBICACIÓN										
ENSAYO DE ULTRASONIDO - INDIRECTA										
Elemento	N° Ensayo	Ubicación	Tiempo rl (μs)	Distancia (cm)	Tiempo rc (μs)	V corregida (m/s)	Calidad	Espesor capa	Profundidad fisura	Inclinación fisura
Observaciones										

Realizó

Aprobó



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Instrucción de llenado en plantilla

Referencia	Debe anotarse
Institución	Nombre de la empresa o entidad para la que se realiza el ensayo. Ejemplo: (Universidad de Cuenca)
Proyecto	Nombre del trabajo o actividad que se está realizando. Ejemplo: (Evaluación Patológica del puente Sixto Durán-Ballén)
Ubicación	Lugar en donde se lleva a cabo el ensayo. Ejemplo: (Autopista Cuenca-Azogues)
Fecha	Día en que se realiza en ensayo. Ejemplo: (26/11/2020)
Hora	Hora en la que se ensaya. Ejemplo: (15:37)
Elemento	Nombre del elemento de la estructura. Se puede agregar numeración o código. Ejemplo: (Columna 1)
N° Ensayo	Enumeración de la prueba, sirve para tener una referencia del mismo.
Ubicación	Zona del elemento donde se realiza el ensayo. Ejemplo: (Cara exterior)
Tiempo t_l (μs)	<ul style="list-style-type: none"> Tiempo de tránsito del pulso; marcado por el equipo al momento de realizar el ensayo. Ejemplo: (96.8) O el registro de lectura en el hormigón continuo. Ejemplo: (77)
Distancia (cm)	Espacio entre los puntos medios de los transductores. Ejemplo: (20)
Tiempo t_c (m/s)	En caso de en "Tiempo t_l " haber anotado el tiempo de tránsito del pulso, no se anota nada en esta sección. Caso contrario, anotar el registro de lectura entre la fisura. Ejemplo: (83)
V corregida (m/s)	Valor obtenido al corregir la velocidad con el factor 1.05, como se muestra en la sección 3.6.7.2.2. Ejemplo: (2919)
Calidad	Condición del hormigón, comparando el valor promedio calculado con las tablas de la sección 3.6.7.3. Ejemplo: (Buena)
Espesor de capa	Dimensión obtenida según el procedimiento indicado en la sección 3.6.7.2.3. Ejemplo: (5 cm)
Profundidad fisura	Valor calculado con el procedimiento indicado en la sección 3.6.7.2.4, se pueden usar la Ecuación 9 o Ecuación 10. Ejemplo: (8 cm)
Inclinación fisura	Dato obtenido con ayuda del procedimiento indicado sección 3.6.7.2.5. Ejemplo: (Inclinación hacia la derecha)
Observaciones	Factores que pueden afectar a los datos obtenidos. Ejemplo: (Humedad, Presencia acero de refuerzo, Temperaturas extremas)

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **453** de **473**



Realizó	Nombre de la persona encargada de realizar el ensayo. Se puede incluir la firma. Ejemplo: (Juan Vanegas)
Aprobó	Nombre del encargado de aprobar los valores obtenidos en el ensayo. Ejemplo: (Mateo Ortega)
<i>*Para el informe final o presentación se pueden anexar fotografías que muestren el proceso realizado en el ensayo.</i>	

Vigencia desde:	Página 454 de 473
Marzo-2021	

INSTITUCIÓN

FECHA**HORA**

PROYECTO

UBICACIÓN

ENSAYO DE MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DE ONDA-P Y ESPESOR DE PLACAS DE CONCRETO, MÉTODO IMPACTO-ECO

[illegible]

Realizó

Aprobó



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Instrucción de llenado en plantilla

Referencia	Debe anotarse
Institución	Nombre de la empresa o entidad para la que se realiza el ensayo. Ejemplo: (Universidad de Cuenca)
Proyecto	Nombre del trabajo o actividad que se está realizando. Ejemplo: (Evaluación Patológica del puente Sixto Durán-Ballén)
Ubicación	Lugar en donde se lleva a cabo el ensayo. Ejemplo: (Autopista Cuenca-Azogues)
Fecha	Día en que se realiza el ensayo. Ejemplo: (26/11/2020)
Hora	Hora en la que se ensaya. Ejemplo: (15:37)
N° Ensayo	Enumeración de la prueba, sirve para tener una referencia del mismo.
Elemento	Nombre del elemento de la estructura. Se puede agregar numeración o código. Ejemplo: (Columna 1)
Ubicación	Zona del elemento donde se realiza el ensayo. Ejemplo: (Cara exterior)
Velocidad de Onda – Método A	
L (m)	Distancia entre transductores. Ejemplo: (0.3)
Δt (s)	Tiempo de viaje entre transductores. De ser necesario transformar las unidades. Ejemplo: (0.000071)
Cp (m/s)	Valor calculado con la Ecuación 11. Ejemplo: (4240)
Medición del espesor	
Cp,ap (m/s)	Velocidad aparente de la Onda-P, obtenida con la Ecuación 12. Ejemplo: (4070)
F (Hz)	Frecuencia obtenida del software utilizado en el ensayo. Ejemplo: (11470)
T (m)	Espesor obtenido con la Ecuación 13. Ejemplo: (0.18)
Velocidad de Onda – Método B	
T (m)	Espesor real medido de la placa. Ejemplo: (0.185)
f (Hz)	Frecuencia obtenida del software utilizado en el ensayo. Ejemplo: (11470)
Cp (m/s)	Velocidad de Onda-P, calculada con la Ecuación 11. Ejemplo: (4244)
Observaciones	Descripción de la condición de superficie de ensayo y si fue requerido lijar la superficie; Existencia de ruidos mecánicos creados por equipos de impacto; En losas de cimentación anotar el tipo de material que lo sostiene (si se conoce); Valor calculado de la profundidad de grieta en caso de ser necesario, en las unidades deseadas; En caso de requerir, Ubicación de defectos internos en las placas.

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **456** de **473**



	Ejemplo: (La superficie fue lijada hasta tener una superficie completamente lisa; Existieron ruidos provocados por un rotomartillo, por tanto, se desecha el ensayo; La losa de cimentación está apoyada sobre conglomerado; La profundidad de la grieta es de 42mm.)
Realizó	Nombre de la persona encargada de realizar el ensayo. Se puede incluir la firma. Ejemplo: (Juan Vanegas)
Aprobó	Nombre del encargado de aprobar los valores obtenidos en el ensayo. Ejemplo: (Mateo Ortega)
<i>*Para el informe final o presentación se pueden anexar fotografías que muestren el proceso realizado en el ensayo.</i>	

**Para el informe final o presentación se pueden anexar fotografías que muestren el proceso realizado en el ensayo.*



**MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN
PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN
EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE
ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-
DESTRUCTIVOS**

CÓDIGO

ESD01

INSTITUCIÓN

HORA

FECHA

PROYECTO

UBICACIÓN

ENSAYO DE CARBONATACIÓN

[illegible]**Realizó**

Aprobó



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Instrucción de llenado en plantilla

Referencia	Debe anotarse
Institución	Nombre la empresa o entidad para la que se realiza el ensayo. Ejemplo: (Universidad de Cuenca)
Proyecto	Nombre del trabajo o actividad que se está realizando. Ejemplo: (Evaluación Patológica del puente Sixto Durán-Ballén)
Ubicación	Lugar en donde se lleva a cabo el ensayo. Ejemplo: (Autopista Cuenca-Azogues)
Fecha	Día en que se realiza en ensayo. Ejemplo: (26/11/2020)
Hora	Hora en la que se ensaya. Ejemplo: (15:37)
N° Ensayo	Enumeración de la prueba, sirve para tener una referencia del mismo.
Elemento	Nombre del elemento de la estructura. Se puede agregar numeración o código. Ejemplo: (Columna 1)
Ubicación	Zona del elemento donde se realiza el ensayo. Ejemplo: (Cara exterior)
Profundidad (mm)	Una vez realizado el ensayo, anotar la profundidad medida de carbonatación (desde la superficie hasta donde se produce el cambio de color). Ejemplo: (5 mm)
Recubrimiento (mm)	El recubrimiento que tiene el elemento en estudio; como ayuda se puede utilizar el plano de construcción en caso de tener acceso. Ejemplo: (40 mm)
Observaciones	<ul style="list-style-type: none">Los factores que pueden afectar al avance de la carbonatación. Ejemplo: (Tipo de cemento, Resistencia del hormigón, Relación agua/cemento, Condiciones de humedad del lugar)Porcentaje de carbonatación con respecto al recubrimiento, se toma en cuenta la profundidad máxima. Ejemplo: (La carbonatación alcanza el 25% de espesor del recubrimiento)
Realizó	Nombre de la persona encargada de realizar el ensayo. Se puede incluir la firma. Ejemplo: (Juan Vanegas)
Aprobó	Nombre del encargado de aprobar los valores obtenidos en el ensayo. Ejemplo: (Mateo Ortega)

**Para el informe final o presentación se pueden anexar fotografías que muestren el proceso realizado en el ensayo.*

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **459** de **473**

**CÓDIGO**

ESD02

INSTITUCIÓN**HORA**

FECHA

PROYECTO

UBICACIÓN

ENSAYO DE ADHERENCIA (PULL OFF)

[illegible]

Realizó

Aprobó



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Instrucción de llenado en plantilla

Referencia	Debe anotarse
Institución	Nombre la empresa o entidad para la que se realiza el ensayo. Ejemplo: (Universidad de Cuenca)
Proyecto	Nombre del trabajo o actividad que se está realizando. Ejemplo: (Evaluación Patológica del puente Sixto Durán-Ballén)
Ubicación	Lugar en donde se lleva a cabo el ensayo. Ejemplo: (Autopista Cuenca-Azogues)
Fecha	Día en que se realiza en ensayo. Ejemplo: (26/11/2020)
Hora	Hora en la que se ensaya. Ejemplo: (15:37)
N° Ensayo	Enumeración de la prueba, sirve para tener una referencia del mismo.
Elemento	Nombre del elemento de la estructura. Se puede agregar numeración o código. Ejemplo: (Columna 1)
Diámetro	<ul style="list-style-type: none"> • u: Las unidades en las que se van a anotar los diámetros. Ejemplo: (cm) El diámetro de la superficie de ensayo. Ejemplo: (5)
Área	<ul style="list-style-type: none"> • u: Las unidades en las que se va a calcular el área. Ejemplo: (cm²) El valor calculado del área con la fórmula $\frac{\pi d^2}{4}$. Ejemplo: (19.64)
Carga Tensión	<ul style="list-style-type: none"> • u: Las unidades en las que se va a colocar la Carga de Tensión. el área. Ejemplo: (KN) La magnitud de la tensión directa que se va aplicando para extraer el disco de prueba queda registrada en el monitor del extractómetro. Anotar dicha magnitud. Ejemplo: (7.6)
Resistencia (MPa)	Con la fórmula planteada en la sección 3.9.7.2 obtener la resistencia. El resultado debe transformarse a MPa para comparar con el valor recomendado por el ACI 440. Ejemplo: (3.87)
Tipo de falla	El tipo de falla obtenida en el ensayo, tomando como referencia lo explicado en la sección 3.9.7.1. Ejemplo: (Adhesivo)
Observaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Los factores que pueden afectar a los resultados. Ejemplo: (Composición y propiedades del concreto en las capas; Degradación superficial del material debido a efectos medioambientales; Material utilizado como interfaz o adhesivo; Orientación y posición del agregado con respecto al disco; Diámetro y espesor del disco; Velocidad de aplicación de carga; Presencia de acero de refuerzo) • En caso de tener un fallo intermedio, anotar el porcentaje de falla cohesiva y el porcentaje de falla adhesiva. Ejemplo: (80% cohesivo – 20% adhesivo)
Realizó	Nombre de la persona encargada de realizar el ensayo. Se puede incluir la firma.

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **461** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Aprobó

Ejemplo: (Juan Vanegas)

Nombre del encargado de aprobar los valores obtenidos en el ensayo.


Ejemplo: (Mateo Ortega)

**Para el informe final o presentación se pueden anexar fotografías que muestren el proceso realizado en el ensayo.*

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **462** de **473**

 UNIVERSIDAD DE CUENCA Facultad de Ingeniería				MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-DESTRUCTIVOS								CÓDIGO ESD03					
INSTITUCIÓN												FECHA	HORA				
PROYECTO																	
UBICACIÓN																	
ENSAYO DE NÚCLEOS PERFORADOS - ENSAYO DE COMPRESIÓN																	
Elemento	N° Ensayo	Ubicación	Altura		Diámetro		L/D	Área		Carga rotura		Resistencia		Factor de corrección	Resistencia corregida		Observaciones
			u		u			u		u		u			u		

Realizó

Aprobó



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Instrucción de llenado en plantilla

Referencia	Debe anotarse
Institución	Nombre de la empresa o entidad para la que se realiza el ensayo. Ejemplo: (Universidad de Cuenca)
Proyecto	Nombre del trabajo o actividad que se está realizando. Ejemplo: (Evaluación Patológica del puente Sixto Durán-Ballén)
Ubicación	Lugar en donde se lleva a cabo el ensayo. Ejemplo: (Autopista Cuenca-Azogues)
Fecha	Día en que se realiza en ensayo. Ejemplo: (26/11/2020)
Hora	Hora en la que se ensaya. Ejemplo: (15:37)
Elemento	Nombre del elemento de la estructura. Se puede agregar numeración o código. Ejemplo: (Columna 1)
N° Ensayo	Enumeración de la prueba, sirve para tener una referencia del mismo. Tomar en cuenta que se deben realizar al menos tres ensayos por elemento estructural.
Ubicación	Zona del elemento donde se realiza el ensayo. Ejemplo: (Cara exterior)
Altura	<ul style="list-style-type: none"> • u: Las unidades en las que se van a anotar las alturas. Ejemplo: (cm) La altura de los cilindros. Ejemplo: (10)
Diámetro	<ul style="list-style-type: none"> • u: Las unidades en las que se van a anotar los diámetros. Ejemplo: (cm) Diámetro de las muestras extraídas. Ejemplo: (7)
L/D	Relación entre el largo (altura) y el diámetro. Se obtiene del cociente entre estos dos. Ejemplo: (1.43)
Área	<ul style="list-style-type: none"> • u: Las unidades en las que se calculan las áreas. Ejemplo: (cm²) Áreas de las muestras, se obtiene con la ecuación del área del círculo. Ejemplo: (38.48)
Carga rotura	<ul style="list-style-type: none"> • u: Las unidades en las que el equipo de compresión mide la carga última. Ejemplo: (KN) Carga de falla obtenida con el uso del equipo de compresión. Ejemplo: (18.5)
Resistencia	<ul style="list-style-type: none"> • u: Las unidades en las que se calcula la resistencia. Ejemplo: (Kg/cm²) Se obtiene de la división entre la carga de rotura y el área calculada. De ser necesario se deben transformar las unidades. Ejemplo: (49.02)
Factor de corrección	La relación L/D calculada se compara con la Tabla 33 y se encuentra el factor de corrección. Se debe interpolar los valores en caso de ser necesario.

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **464** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

	Ejemplo: (0.95)
Resistencia corregida	<ul style="list-style-type: none">• u: Las mismas unidades en las que se calculó la resistencia. Ejemplo: (Kg/cm²) Se obtiene de la multiplicación entre la resistencia calculada y el factor de corrección. Ejemplo: (46.57)
Observaciones	Se deben anotar factores que alteren la resistencia del espécimen. Dirección de la aplicación de la carga con respecto al plano horizontal de cómo estaba colocado originalmente el concreto; Condición de humedad; Tamaño máximo nominal del agregado; Densidad (si es solicitada); Núcleos con fisuras o defectos que no pueden ser ensayados. Ejemplo: (Perpendicular al plano vertical; Seco; ¾"; 2110 Kg/m ³ ; El núcleo #1 no presenta defectos)
Realizó	Nombre de la persona encargada de realizar el ensayo. Se puede incluir la firma. Ejemplo: (Juan Vanegas)
Aprobó	Nombre del encargado de aprobar los valores obtenidos en el ensayo. Ejemplo: (Mateo Ortega)
<i>*Para el informe final o presentación se pueden anexar fotografías que muestren el proceso realizado en el ensayo.</i>	

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **465** de **473**



MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-DESTRUCTIVOS

CÓDIGO

EIP01

INSTITUCIÓN

FECHA

HORA

PROYECTO

UBICACIÓN

Resistencia de diseño

Nombre Martillo

Serie Martillo

Clima

4

Valor

ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA

[illegible]**Realizó**

Aprobó



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Instrucción de llenado en plantilla

Referencia	Debe anotarse
Institución	Nombre de la empresa o entidad para la que se realiza el ensayo. Ejemplo: (Universidad de Cuenca)
Proyecto	Nombre del trabajo o actividad que se está realizando. Ejemplo: (Evaluación Patológica del puente Sixto Durán-Ballén)
Ubicación	Lugar en donde se lleva a cabo el ensayo. Ejemplo: (Autopista Cuenca-Azogues)
Fecha	Día en que se realiza en ensayo. Ejemplo: (26/11/2020)
Hora	Hora en la que se ensaya. Ejemplo: (15:37)
Resistencia de diseño	<ul style="list-style-type: none"> u: Las unidades en las que se encuentra la resistencia de diseño. Ejemplo: (Kg/cm²) Valor: La resistencia que tenía originalmente la estructura, servirá como referencia para comparar la resistencia inicial con la actual. Ejemplo: (280)
Nombre Martillo	Marca y tipo de martillo que se usa para el ensayo. Ejemplo: (Silver Schmidt OS8200)
Serie Martillo	Código único de identificación. Ejemplo: (A5B698)
Clima	Descripción de las condiciones meteorológicas. Ejemplo: (Soleado, 20°C)
Elemento	Nombre del elemento de la estructura. Se puede agregar numeración o código. Ejemplo: (Columna 1)
Ubicación	Zona del elemento donde se realiza el ensayo. Ejemplo: (Cara exterior)
Orientación	La posición en la que se utiliza el esclerómetro, existe tres posibilidades. Ejemplo: (Vertical hacia arriba, Horizontal, Vertical hacia abajo)
Lecturas	Valor del rebote en cada uno de los diez disparos que establece la norma. Ejemplo: (35.6)
Q prom	Valor promedio de las diez lecturas tomadas. Ejemplo: (32.5)
Desv Est	Cálculo de la desviación estándar con las lecturas tomadas. El valor de la desviación estándar no deberá exceder a 2.5. Ejemplo: (2.1)
Factor de Corrección	En caso de existir carbonatación, usar los valores de la Tabla 34 o calcular el factor de tiempo como se indica en la sección 3.11.7.2.2. Ejemplo: (0.94)
Resistencia	<ul style="list-style-type: none"> u: Las unidades en las que se encuentra la resistencia obtenida mediante el ensayo. Ejemplo: (Kg/cm²)

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **467** de **473**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

	<ul style="list-style-type: none">En cada ensayo, anotar los valores de resistencia calculados según la sección 3.11.7.1.
Observaciones	Descripción de las condiciones del ensayo o información preliminar que pueda afectar a los resultados. Se recomienda anotar la relación A/C, condiciones de curado, exposición al medio ambiente, datos descartados o condición inusual, tipo de encofrado, superficie que no haya quedado lisa o que tenga carbonatación. Ejemplo: (La relación A/C fue de 0.5, cuando se realizó el curado se constató pérdida de agua debido a altas temperaturas, condiciones de curado fueron , la columna se encuentra a la intemperie, se descartaron dos datos por no cumplir con los rangos de la norma o se obtuvo un valor de rebote de 10 (muy pequeño), encofrado de madera (se obtiene un índice de rebote mayor que los metálicos, debido a la absorción de humedad), a pesar del uso de la piedra abrasiva no se consiguió una superficie lisa)
Realizó	Nombre de la persona encargada de realizar el ensayo. Se puede incluir la firma. Ejemplo: (Juan Vanegas)
Aprobó	Nombre del encargado de aprobar los valores obtenidos en el ensayo. Ejemplo: (Mateo Ortega)
<i>*Para el informe final o presentación se pueden anexar fotografías que muestren el proceso realizado en el ensayo.</i>	

Vigencia desde:	Página 468 de 473
Marzo-2021	



CÓDIGO

EIP02

INSTITUCIÓN

FECHA**HORA**

PROYECTO

UBICACIÓN

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA EXTRACCIÓN POR DESLIZAMIENTO (PULL OUT)

[illegible]**Realizó**

Aprobó



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Instrucción de llenado en plantilla

Referencia	Debe anotarse
Institución	Nombre de la empresa o entidad para la que se realiza el ensayo. Ejemplo: (Universidad de Cuenca)
Proyecto	Nombre del trabajo o actividad que se está realizando. Ejemplo: (Evaluación Patológica del puente Sixto Durán-Ballén)
Ubicación	Lugar en donde se lleva a cabo el ensayo. Ejemplo: (Autopista Cuenca-Azogues)
Fecha	Día en que se realiza en ensayo. Ejemplo: (26/11/2020)
Hora	Hora en la que se ensaya. Ejemplo: (15:37)
Elemento	Nombre del elemento de la estructura. Se puede agregar numeración o código. Ejemplo: (Columna 1)
Ubicación	Zona del elemento donde se realiza el ensayo. Ejemplo: (Cara exterior)
Tipo de estructura	Condición actual de la estructura, se puede tener estructura antigua o existente (Capo-Test) y estructura nueva o en construcción (Lok-Test). Ejemplo: (Antigua)
Dimensiones (mm)	Dimensiones de los diámetros de la cabeza del dispositivo y el anillo de contrapresión, en las unidades indicadas. Ejemplo: (Cabeza: 25) (Anillo: 55)
Tipo de Carga	Depende del objetivo del ensayo. Si se quiere calcular la carga última se coloca "Rotura", en caso de que el objetivo sea verificar si el hormigón soporta una fuerza, debe anotarse "Específica". Ejemplo: (Rotura)
Carga (kN)	Carga de extracción o carga específica a la que se quiere llegar. Ejemplo: (28)
Tiempo (s)	El tiempo de aplicación de carga en el ensayo hasta llegar a la carga de rotura o específica. Debe comprobarse que el tiempo esté dentro del rango indicado en la Tabla 35; en caso de estar fuera de los límites rechazar el ensayo y anotar el motivo en observaciones. Ejemplo: (40)
Resistencia (MPa)	Resistencia obtenida de la correlación del Gráfico 222. Ejemplo: (Cubo:36) (Cilindro:28)
Observaciones	Descripción de cualquier superficie anormal debajo del anillo de reacción; anomalías en el espécimen de rotura; método de curado; condiciones de humedad al momento del ensayo; tiempo de aplicación de carga en caso de estar fuera del rango establecido. Ejemplo: (No se consiguió una superficie lisa; El cono truncado no presenta diámetros uniformes, el ensayo es rechazado; Curado con aditivos acelerantes; Alta humedad; El

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página 470 de 473



UNIVERSIDAD DE CUENCA

	tiempo de aplicación de carga está fuera de los límites, por lo tanto, el ensayo es rechazado.)
Realizó	Nombre de la persona encargada de realizar el ensayo. Se puede incluir la firma. Ejemplo: (Juan Vanegas)
Aprobó	Nombre del encargado de aprobar los valores obtenidos en el ensayo. Ejemplo: (Mateo Ortega)
<i>*Para el informe final o presentación se pueden anexar fotografías que muestren el proceso realizado en el ensayo.</i>	

Vigencia desde:	Página 471 de 473
Marzo-2021	



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Instrucción de llenado en plantilla

Referencia	Debe anotarse
Institución	Nombre la empresa o entidad para la que se realiza el ensayo. Ejemplo: (Universidad de Cuenca)
Proyecto	Nombre del trabajo o actividad que se está realizando. Ejemplo: (Evaluación Patológica del puente Sixto Durán-Ballén)
Ubicación	Lugar en donde se lleva a cabo el ensayo. Ejemplo: (Autopista Cuenca-Azogues)
Fecha y Hora de vertido	Día y hora en el cual el hormigón se vierte en el encofrado. Ejemplo: (26/11/2020; 16:33)
Tipo de Sensor	Nombre y marca del sensor que se utiliza. Ejemplo: (SmartRock 2)
Elemento	Nombre del elemento de la estructura. Se puede agregar numeración o código. Ejemplo: (Columna 1)
Ubicación	Zona del elemento donde se realiza el ensayo. Ejemplo: (Cara exterior)
Fecha/Hora revisión	<ul style="list-style-type: none">• F: Fecha en la que se realiza el ensayo o chequeo. Ejemplo: (02/12/2020)• H: Hora en la que se realiza el ensayo o chequeo. Ejemplo: (10:36)
Nombre sensor	Nombre utilizado en la etiqueta del sensor. Ejemplo: (Col1 piso1)
T°	<ul style="list-style-type: none">• u: La unidad en la que se medirá la temperatura. Ejemplo: (°C) Valores de la temperatura medidos con el sensor. Ejemplo: (26)
Madurez	<ul style="list-style-type: none">• u: La unidad en la que se medirá la madurez. Ejemplo: (°C-h) Se puede obtener mediante las ecuaciones de la sección 3.13.7.1 o con ayuda del sensor. Ejemplo: (506.5)
Resistencia	<ul style="list-style-type: none">• u: La unidad en la que se medirá la resistencia. Ejemplo: (MPa) La resistencia obtenida con el sensor utilizado en el ensayo o con el gráfico Resistencia vs Madurez proporcionado por el fabricante o propio. Ejemplo: (8.4)
Observaciones	Factores importantes al momento de realizar el ensayo. Ejemplo: (La resistencia está cumpliendo con lo estimado; El encofrado puede retirarse antes de los 28 días; Variaciones bruscas de temperatura.)
Realizó	Nombre de la persona encargada de realizar el ensayo. Se puede incluir la firma. Ejemplo: (Juan Vanegas)
Aprobó	Nombre del encargado de aprobar los valores obtenidos en el ensayo. Ejemplo: (Mateo Ortega)

**Para el informe final o presentación se pueden anexar fotografías que muestren el proceso realizado en el ensayo.*

Vigencia desde:

Marzo-2021

Página **473** de **473**